

FRANKLIN GALVÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA A AUTO - ECOLOGIA DE
Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong.
(TIMBAÚVA)

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial na obtenção de Título de "Mestre em Ciências-M.Sc.", no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1979



COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato FRANKLIN GALVÃO, sob o título "CONTRIBUIÇÃO PARA A AUTO-ECOLOGIA DE *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. (TIMBAÚVA)", para obtenção do grau de Mestre em Ciências - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração: SILVICULTURA, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, e realizada a atribuição de conceitos, são de parecer pela "APROVAÇÃO COM DISTINÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o Grau e o Diploma de Mestre.

Curitiba, 13 de fevereiro de 1979.

Professor Franz Andrae - Ph.D
Primeiro Examinador

Professor Reinout Jan De Hoogh - M.Sc
Segundo Examinador



Professor Mario Takao Inoue - Ph.D
Presidente

A

meus pais

meus seis irmãos

Maria Inês, minha mulher

Carolina, minha filha

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Mario Takao Inoue, pela orientação e apoio em todas as fases deste trabalho;

Ao colega Paulo R. Schneider pelo expressivo auxílio na computação dos dados;

Aos funcionários Rubens Lourenço e Eliézer da Silva pela colaboração durante a execução dos experimentos;

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e a Universidade Federal do Paraná (UFPr), por terem-me possibilitado a realização deste curso;

A CAPES pela concessão da bolsa-de-estudo, durante o período do Curso de Pós-Graduação.

BIOGRAFIA DO AUTOR

FRANKLIN GALVÃO, nasceu a 15 de julho de 1952 em Pôrto Alegre - RS. De 1959 a 1970 frequentou o primário, ginásio e científico no Colégio Santa Maria em Santa Maria-RS. Graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria em 1974. Em 1975, ingressou como Auxiliar de Ensino nesta mesma Universidade, respondendo pelas disciplinas de Silvicultura e Ecologia Florestal lotadas ao Departamento de Ciências Florestais. Em março de 1977 iniciou o curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná, tendo como área de concentração, Silvicultura.

S U M Á R I O

	Página
Lista de Figuras	ix
Lista de Quadros	xii
Lista de variáveis estudadas	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Fator temperatura	3
2.1.1 Influência da temperatura na fotossíntese	4
2.1.2 Influência da temperatura na respiração	6
2.1.3 Influência da temperatura na transpiração	7
2.2 Fator luz	8
2.2.1 Influência da luz na fotossíntese	9
2.2.2 Influência da luz na respiração e transpiração	11
2.2.3 Eficiência da transpiração	12
2.3 Fator água	13
2.3.1 Influência da água no crescimento	13
2.3.2 Influência da água na fotossíntese	17
2.3.3 Influência da água na respiração	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Material	22
3.1.1 Procedência das sementes	22
3.1.2 Produção das mudas	22

	Página
3.1.2.1. Substrato	23
3.1.2.2. Cultivo das mudas	23
3.2 Metodologia da pesquisa "A"	24
3.2.1 Determinação da fotossíntese, respiração e <u>trans</u> piração	24
3.2.2 Condições ambientais durante a medição	26
3.2.3 Determinação das grandezas de relação	27
3.2.4 Delineamento estatístico	27
3.3 Metodologia da pesquisa "B"	28
3.3.1 Determinação dos tratamentos	28
3.3.2 Manutenção dos tratamentos	28
3.3.3 Condições ambientais durante o experimento	29
3.3.4 Determinação do crescimento e produção de <u>maté</u> ria	30
3.3.5 Determinação da tensão da seiva	30
3.3.6 Determinação da troca gasosa de CO ₂	31
3.3.7 Delineamento estatístico	32
4. RESULTADOS	34
4.1 Influência da temperatura e luminosidade (<u>pesqui</u> sa "A")	34
4.1.1 Fotossíntese líquida	34
4.1.2 Respiração	38
4.1.3 Transpiração	39
4.1.4 Coeficiente econômico aparente	41
4.1.5 Eficiência da transpiração	43
4.2 Efeito da disponibilidade hídrica (pesquisa "B")	44
4.2.1 Tensão da seiva	45

	Página
4.2.2	Influência da tensão da seiva e luminosidade na fotossíntese líquida 45
4.2.3	Respiração 48
4.2.4	Influência da tensão da seiva e luminosidade no coeficiente econômico aparente 49
4.2.5	Efeito da tensão da seiva no crescimento 51
4.2.5.1.	Incremento do diâmetro do colo e altura 51
4.2.5.2.	Peso de matéria verde e seca 53
5.	DISCUSSÃO 59
5.1	Influência da intensidade luminosa e temperatura..... 59
5.1.1	Fotossíntese líquida e respiração 59
5.1.2	Transpiração 62
5.1.3	Coeficiente econômico aparente 63
5.1.4	Eficiência da transpiração 65
5.2	Influência da disponibilidade hídrica 65
5.2.1	Tensão da seiva 65
5.2.2	Fotossíntese líquida 66
5.2.3	Respiração 68
5.2.4	Coeficiente econômico aparente 69
5.2.5	Efeito da tensão da seiva no crescimento 69
5.2.5.1.	Incremento em altura e diâmetro do colo 69
5.2.5.2.	Peso de matéria verde e seca 70
6.	CONCLUSÕES 73
6.1	Fatores luz e temperatura 74

	Página
6.2 Fator água	74
6.3 Importância silvicultural do estudo	75
7. RESUMO	77
SUMMARY	79
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICE I	84
APÊNDICE II	86

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Unidades de registro e controle (à esquerda) e de CO ₂ (à direita).....	25
2	Câmara climatizada com o material a ser analisado.....	26
3	Câmara de pressão de Scholander usada na determinação da tensão da seiva	31
4	Curva de regressão da fotossíntese líquida em função da intensidade luminosa, na pesquisa "A"	36
5	Curvas de regressão da fotossíntese líquida em função da luminosidade, para as diferentes temperaturas testadas	36
6	Curvas de regressão da fotossíntese líquida para as diferentes luminosidades testadas, dependentes da temperatura.....	37
7	Curva de regressão da respiração em função da temperatura.....	38
8	Curvas de regressão da transpiração para diferentes temperaturas, em função da luminosidade	40
9	Curvas de regressão da transpiração para diferentes intensidades luminosas numa dependência da temperatura.....	41

Figura		Página
10	Curvas de regressão do coeficiente econômico aparente para as temperaturas testadas dependentes da intensidade luminosa.....	43
11	Curvas representativas da eficiência da transpiração média para as temperaturas de 22°C e 30°C, em função da luminosidade.....	44
12	Curva de regressão da fotossíntese líquida dependente da intensidade luminosa, na pesquisa "B".....	46
13	Curvas de regressão da fotossíntese líquida para diferentes níveis de tensão da seiva em função da luminosidade.....	47
14	Curvas de regressão da fotossíntese líquida para os diferentes níveis de luminosidade dependentes da tensão da seiva.....	48
15	Curva de regressão da respiração dependente da tensão da seiva.....	49
16	Curvas de regressão do coeficiente econômico aparente para os níveis de tensão da seiva função da luminosidade.....	50
17	Curva de regressão do incremento em altura em função da tensão da seiva, para plantas com 14 semanas.....	52
18	Curva de regressão do incremento do diâmetro do colo em função da tensão da seiva, para plantas com 14 semanas.....	53
19	Sistema radicular representativo das plantas do tratamento "A" (1,34 bar).....	56

Figura		Página
20	Sistema radicular representativo das plantas do tratamento "B" (2,36 bar).....	56
21	Sistema radicular representativo das plantas do tratamento "C" (5,70 bar).....	57
22	Sistema radicular representativo das plantas do tratamento "D" (8,14 bar).....	57
23	Sistema radicular representativo das plantas do tratamento "E" (11,78).....	58
24	Planta do tratamento E. Observa-se uma redução no número de folhas (apenas duas) e no tamanho dos folíolos (à direita).....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Características físicas e químicas dos substratos.....	23
2 Composição da solução nutritiva fornecida as plantas.....	29
3 Valores médios da fotossíntese líquida($\text{mgCO}_2/\text{g/h}$) em função da temperatura e luminosidade na pesquisa "A".....	35
4 Valores médios da transpiração ($\text{mgH}_2\text{O/g/d}$) em função da temperatura e luminosidade.....	39
5 Valores médios do coeficiente econômico aparente dependente da temperatura e luminosidade...	42
6 Valores médios da tensão da seiva (TS) em bar, nas folhas de plantas condicionadas a diferentes níveis de disponibilidade hídrica do substrato	45
7 Valores médios da fotossíntese líquida($\text{mgCO}_2/\text{g/h}$) em função da tensão da seiva e luminosidade...	46
8 Valores médios da respiração ($\text{mgCO}_2/\text{g/h}$) para diferentes tensões da seiva (bar).....	48
9 Valores médios do coeficiente econômico aparente em função da luminosidade e tensão da seiva	50

10	Incremento do diâmetro do colo e altura, em mm, após 14 semanas, nos diferentes níveis de <u>ten</u> <u>são</u> da seiva.....	52
11	Peso de matéria verde e seca das plantas <u>condi</u> <u>cionadas</u> pelos diferentes regimes de irrigação.	54
12	Percentagem de umidade, em relação ao peso seco, dependente do nível de tensão da seiva.....	55

ABREVIATURAS UTILIZADAS

L = Intensidade luminosa

T = Temperatura

TS= Tensão da seiva

r = Coeficiente de correlação

1. INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil as essências florestais nativas estão sendo utilizadas em reflorestamentos decorrentes de uma imposição legal. Entretanto, muitos desses reflorestamentos são marcados pelo insucesso devido à falta de informações sobre as espécies utilizadas. Por outro lado, estes problemas poderão ser minimizados à medida que haja uma conscientização sobre a necessidade do estudo auto-ecológico de nossas essências autóctones.

Muitos são os fatores ambientais que regulam direta ou indiretamente o crescimento das plantas, condicionando complexos processos fisiológicos. Estes fatores operam em conjunto, exercendo influência no comportamento das plantas e, em consequência, no desempenho de um plantio. Determinar o grau de influência individual dos principais fatores torna-se um imperativo, para que se possa promover melhores condições de crescimento, já que cada espécie apresenta exigências próprias.

Entre as espécies nativas, potencialmente indicadas para o reflorestamento, encontra-se a timbaúva, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.. Esta leguminosa arborescente é uma essência pioneira, heliófila, indicada sobretudo para a fabricação de canoas de tronco inteiro, devido ao seu cerne durável, macio e fácil de trabalhar, como também, para

tabuado, ripado, móveis, pasta de papel, etc (RIZZINI³⁵, REITZ et al.³⁴).

Esta espécie salienta-se ainda pelo seu alto valor ecológico devido a fixação de nitrogênio e pela rápida decomposição de seus restos vegetais, sendo indicada para a recuperação de habitats degradados.

Diante da falta de informações sobre a auto-ecologia da timbaúva, é objetivo deste trabalho apresentar algumas informações ecofisiológicas sobre o efeito da temperatura ambiental, intensidade luminosa e disponibilidade hídrica no desempenho desta espécie, como subsídio elementar para decisões sobre o seu manejo silvicultural.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FATOR TEMPERATURA

As flutuações na temperatura do solo e do ar influenciam o crescimento e a distribuição das plantas, pela ascensão sobre diversos processos fisiológicos muito importantes como: fotossíntese, respiração, transpiração, divisão e alongamento celular, atividade enzimática e síntese de clorofila. Normalmente, o crescimento é intensificado com o aumento da temperatura até atingir uma temperatura crítica para uma dada espécie, após o que, declina rapidamente (KRAMER & KOZLOWSKI²⁴).

A amplitude de variação da temperatura compatível com o crescimento varia de espécie para espécie. Dentro desta variação existe uma temperatura ótima cujo valor dependerá também de outras condições que controlam o crescimento (STREET & ÖPIK⁴², LARCHER²⁵, KRAMER & KOZLOWSKI²⁴, BONNER & GALSTON³, MEYER et al.²⁸). A temperatura ótima varia entre órgãos da planta e altera-se conforme a idade da mesma. No entanto, os limites de temperatura para o crescimento de uma planta são menores que os limites de temperatura para os processos individuais (STREET & ÖPIK⁴²).

Segundo KRAMER²², para a fotossíntese, a temperatura ótima é inferior à da respiração e com o aumento da tempera

tura há um decréscimo da fotossíntese líquida devido ao aumento da respiração. Este aumento induz um acréscimo na transpiração e frequentemente produz um déficit de saturação nas folhas com consequente fechamento de estômatos, redução na captação de CO_2 , e com isto, um decréscimo na fotossíntese. O efeito direto da temperatura na fotossíntese torna-se importante somente quando outros fatores, como luz e CO_2 , não são limitantes.

2.1.1 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA FOTOSSÍNTESE

O efeito da temperatura na assimilação é coberto por outros fatores ambientais, especialmente pela intensidade luminosa, teor de CO_2 no ar, disponibilidade de água e tempo. Sua influência torna-se maior sob condições extremas.

Conforme MEYER et al.²⁸, quando o CO_2 , a luz ou qualquer outro fator não são limitantes para a fotossíntese, a taxa a que este processo se realiza, aumenta com o aumento da temperatura até um certo ponto que varia, de certo modo, de uma espécie para outra. Um aumento adicional da temperatura origina um declínio rápido da taxa de fotossíntese, essencialmente como consequência de efeitos perniciosos das altas temperaturas sobre o protoplasma.

INOUE¹⁶, trabalhando com *Cedrela fissilis* Vell. constatou que, à baixa intensidade luminosa, os maiores valores da capacidade fotossintética foram observados a temperatura de 15°C , enquanto que, à mesma temperatura e a 40 klux, a fotossíntese líquida foi menor em relação às demais temperaturas (25° e 30°C). Estes resultados, comenta o autor, confir

mam as afirmações de WEBER*, que para cada temperatura existe uma curva ótima. No presente caso, os maiores valores da capacidade fotossintética para *Cedrela fissilis* Vell. foram alcançados à temperatura de 25°C, percorrendo um ótimo entre 15 e 40 klux. A resultados semelhantes chegaram HARI & LUUKKANEN¹¹ com *Alnus incana* (L.) Moench, a qual apresentou uma maior fotossíntese a 22°C do que a 32°C.

TRANQUILINI**, citado por KRAMER & KOZLOWSKI²⁴, constatou que a fotossíntese líquida de plântulas de *Pinus cembra* L. progrediu constantemente até um máximo observado a uma temperatura entre 10°C e 15°C e baixou daí em diante com o aumento das temperaturas. Aproximadamente a 35°C, as folhas liberavam CO₂, indicando que a essa temperatura a respiração excedia a fotossíntese.

DECKER***, citado por KRAMER²², mostra que a taxa de fotossíntese para mudas de *Pinus resinosa* Aiton. e *Pinus taeda* L. medida a 48,4 klux, atinge um máximo entre 20°C e 30°C, provavelmente próximo a 20°C e esta decresce 45% quando a temperatura aumenta de 30°C para 40°C.

Gynandropsis gynandra (L.) Briq. e *Amaranthus lividus* L. requerem altas temperaturas (30°C a 45°C) para atingir a fotossíntese máxima, no entanto *Crotalaria brevidens* Benth. requer temperaturas de 15°C a 25°C para cumprir a mesma fun

* WEBER, W. Biologie in Stichworten. II. Botanik. Kiel, Verlag Ferdinand Hirt, 1972.

** TRANQUILINI, W. Die Lichtabhängigkeit der Assimilation von Sonnen und Schattenblättern einer Buche unter ökologischen Bedingungen. 8th. Internat. Bot. Cong. Proc., Paris, sec. 13, p. 100-102, 1954.

***DECKER, J.P. Effect of temperature on photosynthesis and respiration in red and loblolly pines. Plant Physiol., 19: 678-688, 1944.

ção (IMBAMBA & TIESKEN¹⁵). Para *Artemisia tridentata* Nutt. um arbusto das estepes frias dos Estados Unidos, DEPUIT & CALDWELL⁸ concluíram que, sob luminosidade constante, a maior taxa de assimilação líquida é alcançada a 20°C.

Conforme MOTTA²⁹, para a maioria das plantas nas regiões tropicais o ótimo de temperaturas excede 25°C, mas para as plantas árticas e alpinas a temperatura ótima pode ser tão baixa quanto 15°C.

2.1.2 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA RESPIRAÇÃO

Em contraposição à assimilação, que depende da interação complexa dos fatores externos, a respiração depende, sob condições naturais, em maior parte, da temperatura.

Segundo MEYER et al.²⁸, o Q_{10} da respiração dos tecidos vegetais entre temperaturas de 10°C e 30°C tem normalmente um valor que oscila entre 2 e 2,5. Acima de 30°C os valores Q_{10} para a respiração são difíceis de determinar com um certo grau de precisão, devido ao efeito do fator tempo. A natureza do "fator tempo", que vai se tornando progressivamente mais eficiente em reduzir a taxa respiratória a medida que a temperatura vai subindo, é desconhecida.

DECKER*, citado por KRAMER & KOZLOWSKI²⁴, comenta que o crescimento da planta pode ser, a temperaturas elevadas, seriamente prejudicado por uma respiração excessiva, uma vez que a temperatura mais favorável para a fotossíntese é usual

* DECKER, J.P. Effect of temperatura on photosynthesis and respiration in red and loblolly pines. Plant Physiol., 19: 678-688, 1944.

mente mais baixa do que a mais favorável para a respiração. O aumento da temperatura de 20° para 40°C resultou em uma respiração três vezes maior para *Pinus resinosa* Aiton. e *Pinus taeda* L. Isto diminui a capacidade destas espécies no que diz respeito à acumulação de carboidratos, já que o quociente entre a fotossíntese e a respiração passou de 13 para 3 com o aumento da temperatura de 20° para 40°C. Para *Piptocarpha angustifolia* Dusén., a respiração comporta-se de uma maneira semelhante, com o aumento de 15°C para 30°C (SEITZ³⁴).

2.1.3 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA TRANSPIRAÇÃO

A transpiração é, basicamente, um processo de evaporação. É conhecido que a transpiração foliar é um processo que, além de fatores internos, depende de fatores climáticos, como: pressão de vapor, umidade do ar, temperatura, luminosidade, vento, etc. Sabe-se também que, dentro de certos limites que não causam danos, a intensidade da transpiração aumenta com o aumento da temperatura.

Segundo ANDRAE¹, a reação das plantas frente a fenômenos térmicos varia conforme o período do ano. A sensibilidade ocasionada por danos pelo calor (ou frio) é alterada com a idade da planta. O autor, trabalhando com *Eucalyptus saligna* Sm. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab., constatou que em outubro/novembro de 1973, para uma temperatura média em estufa de 24,6°C e com bom e mau abastecimento de água, a intensidade de transpiração foi superior para ambas as espécies quando comparada a março de 1974, com temperatura média de 26,6°C.

Para *Cedrela fissilis* Vell. foi constatado uma transpiração crescente de 25° para 30°C, a níveis de luminosidade entre 15 e 40 klux. Em 5 klux os valores da transpiração se igualaram para ambas as temperaturas (INOUE¹⁶).

2.2 FATOR LUZ

O crescimento das plantas é afetado pela intensidade, duração ou fotoperíodo e qualidade ou comprimento de onda da luz.

As plantas adaptam-se de muitas maneiras em seu metabolismo, forma e desenvolvimento à intensidade e qualidade predominante de radiação, que dispõem em seu lugar de crescimento. Um exemplo deste tipo de adaptação é a formação de folhas umbrófilas e heliôfilas em uma mesma árvore, oriundas de um efeito secundário das radiações (LARCHER²⁵).

A intensidade de luz provoca modificações no crescimento das diferentes espécies. LOGAN*, citado por KOZLOWSKI¹⁹, comparando o crescimento em mudas de muitas espécies de gimnospermas e angiospermas com luminosidade total e parcial (45, 25 e 13% de luz), constatou que um sombreamento excessivo reduz o crescimento de gimnospermas mais acentuadamente que em angiospermas.

A intensidade de luz afeta portanto, o crescimento direta e indiretamente. Os efeitos diretos são exercidos na

* LOGAN, K.T. Growth of tree seedlings as affected by light intensity. I. White birch, yellow birch, sugar maple, and silver maple. Can. Dep. Forest., Publ., 1121, 1965.

* LOGAN, K.T. Growth of tree seedlings as affected by light intensity. II. Red pine, white pine, jack pine, and easter larch. Can. Dep. Forest., Publ. 1160, 1966.

fotossíntese, abertura dos estômatos e síntese de clorofila e indiretos no dessecamento das folhas, como resultado da excessiva transpiração quando exposta a altas intensidades. (KRAMER²³).

2.2.1 INFLUÊNCIA DA LUZ NA FOTOSSÍNTESE

A luz é o fator ambiental mais importante da assimilação. Se a luz de compensação é ultrapassada, a assimilação aumenta primeiro rapidamente e a partir daí, de uma forma mais lenta até atingir um valor máximo. Dos valores da radiação intensa de 70 a 85 klux (ou até 120 klux) as plantas nativas da Europa só podem aproveitar uma parte, entre 20 e 35 klux. Para muitas espécies são suficientes 7 a 15 klux para alcançar 3/4 dos valores máximos. As espécies da floresta tropical pluvial, mesmo sob condições diversas, comportam-se de maneira não muito diferentes das de zona temperada (LYR et al.²⁷).

Segundo KRAMER & DECKER*, citados por BORMAN⁴, para mudas de *Pinus taeda* L. com dois anos de idade, sob condições constantes e favoráveis de umidade e temperatura, a fotossíntese líquida aumenta com o aumento da intensidade luminosa, sendo que uma modificação da intensidade de luz de aproximadamente 50 klux para 100 klux produz um aumento estatisticamente significativo na fotossíntese líquida.

Em seu estudo sobre a sobrevivência de *Picea engelmannii*

* KRAMER, P.J. & DECKER, J.P. Relation between light and rate of photosynthesis of loblolly pine and certain hardwoods. Plant. Physiol., 19: 350-358, 1944.

Engelm., RONCO³⁶ concluiu que as plantas tolerantes a sombra tem uma saturação luminosa a 1/3 da radiação solar total. Nestas plantas a luminosidade é fator limitante para a sobrevivência. Já em *Pinus contorta* Dougl., definida como uma planta intolerante, não foi constatada saturação luminosa mesmo a 130 klux, não tendo portanto efeito sobre a sobrevivência após o plantio a céu aberto.

SEITZ³⁸, trabalhando com mudas de *Piptocarpha angustifolia* Dusén. (vassourão-branco), constatou que, a uma temperatura de 20°C e umidade de 70%, esta espécie está sujeita a uma saturação luminosa a baixas intensidades de luz (30 klux), caracterizando-a como uma essência umbrófila.

FERREIRA et al.¹⁰, estudando o efeito do sombreamento na produção de mudas em viveiro, sob 0, 25, 50 e 70% de sombreamento para *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong., concluíram que somente a relação raiz/parte aérea apresentou diferença estatisticamente significativa para todos os níveis testados. Neste caso, o melhor tratamento foi sem sombreamento. Porém, analisando o desenvolvimento destas mudas 3 meses após o plantio no campo, verificaram que as mudas de timbauva produzidas no viveiro com 70% de sombreamento, tiveram altura significativamente superior às aquelas produzidas à luz total.

INOUE¹⁶, investigando a influência da luz em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. mediante o cultivo destas em estufa com 3 níveis de luminosidade, concluiu que mudas cultivadas a 2,5% da luz do dia, apresentaram um efetivo aproveitamento fotossintético à baixa intensidade de luz (entre 1,6 a 11 klux). Contrariamente, sua capacidade fotossintética diminui

à intensidade de 21 a 30 klux. A fotossíntese de plantas cultivadas ao sol não decresceu, mesmo à intensidade de 40 klux. Isto demonstra a adaptabilidade dos cedros, frente as condições de luz do ambiente.

Mudas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, cultivadas sob diferentes níveis de sombreamento no viveiro, foi observado que a taxa fotossintética aumenta com o aumento da intensidade luminosa. Plantas cultivadas à plena luz e a 71% dela mostraram um acréscimo linear da fotossíntese até a luminosidade testada (40 klux), mostrando uma adaptação fisiológica às condições de luz forte, em que o ponto de saturação luminosa situa-se bastante acima de 40 klux. Por outro lado, as plantas cultivadas sob forte sombra, 25 e 2% da luz do dia, apresentaram um maior índice de capacidade fotosintética em todas as luminosidades testadas (2, 15, 25 e 40 klux). As curvas apresentaram uma inflexão entre 15 e 25 klux, demonstrando que o ponto de saturação lumínica da fotosíntese pode estar pouco acima de 40 klux. Entretanto, sob o ponto de vista de produção fotossintética por planta, as condições precárias de luz (abaixo de 25% da luz do dia) podem afetar negativamente o crescimento das plantas (INOUE et al.¹⁸).

2.2.2 INFLUÊNCIA DA LUZ NA RESPIRAÇÃO E TRANSPIRAÇÃO

Os efeitos da luz sobre a respiração são geralmente indiretos, dadas a relação da luz com o aumento da temperatura, a influência sobre os substratos oxidáveis da fotosíntese e a influências sobre a hidrólise de alimentos de reserva em substratos respiratórios imediatos. O efeito da luz na

abertura estomática pode ter uma certa ação na respiração (KRAMER & KOZLOWSKI²⁴).

Apesar de inúmeros investigadores considerarem a luz como um fator que pode aumentar ou diminuir a respiração das plantas, os efeitos da luz devem, com raras exceções, ser interpretados como influências indiretas (MEYER et al.²⁸).

Segundo MEYER et al.²⁸, os principais efeitos da luz sobre a transpiração resultam de influência sobre a abertura e fechamento estomático. Comentam ainda que na maioria das plantas estudadas, os estômatos estão normalmente fechados na ausência da luz, havendo assim uma interrupção quase total da transpiração estomática durante as horas de escuridão. Desde que nenhum dos fatores ambientais exerçam qualquer influência sobre a transpiração estomática, a não ser quando os estômatos estão abertos, a luz ocupa uma posição de primordial importância entre os fatores que condicionam a transpiração.

2.2.3 EFICIÊNCIA DA TRANSPIRAÇÃO

A relação entre a fotossíntese líquida e a transpiração chama-se "EFICIÊNCIA DA TRANSPIRAÇÃO", que determina a quantidade de matéria produzida por volume de água transpirada (INOUE¹⁶). Este termo equivale a "produtividade da transpiração" proposto por IVANOV*, citado por LYR et al.²⁷.

SEITZ³⁸, calculando a eficiência da transpiração através da relação mgCO_2 assimilado / mgH_2O transpirados, para

* IVANOV, L.A. "Über die Transpiration der Holzgewächse im Winter. Ber.deut.bot.Gesell., 42: 44-49, 210-218, 1924.

Piptocarpa angustifolia Dusén., e relacionando este quociente com a luminosidade, verificou que o valor máximo desta relação encontra-se entre 16 e 20 klux. Isto determina que a melhor eficiência em termos de utilização de água é alcançada a baixas intensidades luminosas, produzindo, portanto, mais matéria seca por unidade de água transpirada em ambientes sombreados.

Para *Cedrela fissilis* Vell., a eficiência da transpiração a 30°C está estreitamente relacionada com a intensidade luminosa: para um aumento desta, ocorre um aumento proporcional da eficiência da transpiração. À temperatura de 25°C, o aumento é proporcional até a uma intensidade luminosa de 20 klux aproximadamente. Deste ponto até 40 klux, a eficiência transpiratória decresce, devido ao incremento da transpiração e o decréscimo da fotossíntese nesta faixa (INOUE¹⁶).

2.3 FATOR ÁGUA

2.3.1 INFLUÊNCIA DA ÁGUA NO CRESCIMENTO

A importância ecológica da água é a resultante de sua importância fisiológica. O único caminho para que o fator água afete o crescimento das plantas é pela alteração das condições e processos fisiológicos internos (KRAMER²³). Provavelmente, o crescimento das plantas é com maior frequência limitado por deficiências hídricas internas, do que por qualquer outro fator interno isolado devido a sua afluência sobre quase todos os processos que ocorrem numa planta (KRAMER & KOZLOWSKI²⁴).

SETH & SRIVASTAVA³⁹ comentam que os resultados obtidos para *Shorea robusta* Gaertn. indicam uma íntima correlação entre o crescimento em altura das mudas testadas e disponibilidade de água no solo. Uma limitação provoca uma redução no crescimento em altura e sendo acentuada, as mudas mostram-se raquíticas. A mesma relação foi encontrada para o peso de matéria seca.

Fato semelhante foi constatado por LUFTUS²⁶ com mudas de *Liriodendron tulipifera* L., nas quais o crescimento em altura, o diâmetro do colo e o peso de matéria seca radicular e aéreo foram significativamente reduzidos com o aumento da tensão de umidade do solo acima de 2,4 bar, após dois anos de secura simulada. As mudas que apresentaram um crescimento global melhor, encontravam-se próximo a capacidade de campo (0,3 bar). Estes dados sugerem que a tensão de umidade do solo não deve exceder a 2 bar, o que é caracterizado como ótimo para as mudas de *Liriodendron tulipifera*, pois acima disto o crescimento é prejudicado.

Para *Pinus taeda* L. e *P. echinata* Mill., o crescimento em altura é inibido com tensões de 2 bar e é impedido com 3,5 bar, conforme afirmativas de STRANSKI & WILSON⁴¹.

ANDRAE¹ verificou para *Eucalyptus saligna* Sm. com idade de 8 meses, um incremento em altura de 14,8 mm/dia e 10,8 mm/dia com bom e medíocre abastecimento de água respectivamente. Para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab., foi registrado um incremento em altura de 9,6 mm/dia sob boas condições hídricas, quando comparado com 1,9 mm/dia sob condições medíocres de abastecimento de água; e para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. verificou-se um comportamento semelhante

com os valores de 1,5 mm/dia e 1,0 mm/dia, sendo ambas as espécies com 15 meses de idade. O autor ainda comenta que, para *Eucalyptus saligna* Sm., na época de franco crescimento vegetativo, só tensões acima de 0,7 atm no solo causam reduções significativas na taxa de incremento em altura. Para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab., uma tensão média no solo superior a 0,5 atm reduz significativamente o incremento anual e melhores condições hídricas a partir de novembro possibilitam uma certa recuperação. Em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., apesar de apresentar uma taxa de incremento inferior, tensões entre 0,3 e 0,4 atm reduzem o crescimento significativamente.

A deficiência hídrica, segundo ANDRAE², manifesta-se não somente no crescimento corrente, como também na formação de reservas. A diminuição do crescimento porém, é variável dependendo da sensibilidade da espécie.

QURASHI & KRAMER³² constataram que as folhas inferiores de *Eucalyptus rostrata* Schl. foram injuriadas quando submetidas a tensões próximas de 16 bar, ao passo que *Eucalyptus polyanthemos* Schau. e *E. siderozylon* (A. Cunn.) Benth. emitiram novas folhas. O crescimento em altura e expansão foliar foram severamente reduzidas para *E. rostrata*, não acontecendo com as demais espécies, quando sujeitas a estas tensões no solo. É certo porém, que as três espécies não apresentaram diferença significativa quanto à profundidade de penetração do sistema radicular.

Plantas sujeitas à deficiência hídrica não somente mostram uma redução em seu tamanho, mas também exibem modificações características na estrutura, particularmente na fo

lha. Área foliar, tamanho das células e volume intercelular são usualmente decrescidos. Cutinização, pelos epidérmicos, densidade dos vasos, frequência de estômatos e espessura tanto da camada paliçádica como das folhas são normalmente acrescidos (KRAMER²³).

KRAMER & KOZLOWSKI²⁴ afirmam que, como regra geral, o déficit hídrico reduz mais acentuadamente o crescimento das células do que a sua divisão e diferenciação. Com isto as folhas são visivelmente menores. ZAHNER⁴³, enfatiza que o déficit hídrico, durante o período de expansão dos ramos, não influencia o número pré-determinado de folhas que maturam, mas frequentemente causam a formação de folhas pequenas mais próximas umas das outras. A expansão dos entre-nós é menos afetada do que a das folhas porque o período de expansão dos entre-nós é muito inferior ao das folhas. Por exemplo, SANDS & RUTTER* observaram que o alongamento das acículas em mudas de *Pinus resinosa* Aiton. foi reduzido pelas tensões de umidade do solo tão baixas quanto 0,5 atm. Fato semelhante ocorreu também com *Pinus strobus* L. e *P. taeda* L., em que um aumento na tensão do solo reduziu o crescimento das acículas.

Conforme DAVIES & KOZLOWSKI⁷, mudas de *Juglans nigra* L. exibem uma acelerada senescência das folhas quando condicionadas a baixo potencial hídrico. Segundo MEYER et al.²⁸, nas espécies em que há abscisão foliar, esta pode ser levada a efeito pela alteração das condições ambientais em que a planta se desenvolve. A abscisão das folhas, por exemplo, pode re

* SANDS, K. & RUTTER, A.J. Studies in the growth of young plants of *Pinus resinosa* A. Ann. Bot. (London) 23:269-284, 1959.

sultar de:

- a) um déficit hídrico na planta ocasionando, em geral, por condições de secura;
- b) baixas temperaturas;
- c) redução da intensidade luminosa;
- d) alterações no fotoperíodo.

Assim como as folhas, devido a sua sensibilidade, o sistema radicular, em especial as raízes finas, são visivelmente influenciadas pela disponibilidade de água no solo. O excesso ou deficiência de água no solo limitam o crescimento e função das raízes. A água, comenta KRAMER²³, não é diretamente injuriosa para as raízes, entretanto um excesso provoca uma redução substancial no espaço poroso do solo e produz uma deficiência em oxigênio, causando a morte de muitas raízes. A deficiência hídrica, por outro lado, provoca a inibição do crescimento destas, e há pouco ou nenhum crescimento das raízes com conteúdo de água próximo ao ponto de murcha permanente.

O aspecto morfológico do sistema radicular varia com a intensidade de oxigenação. O sistema radicular de plantas arejadas é muito longo e mais ramificado que o de plantas desenvolvendo em meio com aeração deficiente (CAMARGO⁵).

2.3.2 INFLUÊNCIA DA ÁGUA NA FOTOSSÍNTESE

Menos que 1% da água absorvida pela planta é utilizada na fotossíntese. Parece, portanto, provável que os efeitos indiretos do fator água sobre a fotossíntese sejam mais pronunciados que seus efeitos diretos. Em outras palavras, a

água, como matéria prima para a fotossíntese, é raramente ou jamais um fator limitante neste processo. Contudo, uma redução no teor de água das folhas resulta provavelmente de uma ou de ambas as seguintes condições: primeiro, uma redução na capacidade difusiva dos estômatos e segundo, um decréscimo na hidratação dos cloroplastídios e de outras partes do protoplasma que, de algum modo, diminui a eficiência do mecanismo fotossintético (MEYER et al.²⁸).

Para KRAMER²³, a deficiência hídrica pode reduzir a fotossíntese pela redução da área foliar, fechamento dos estômatos e redução na atividade dos mecanismos protoplasmáticos desidratados. Esta opinião fundamenta-se no fato de que transpiração e fotossíntese são frequentemente reduzidas com a mesma intensidade. Porém, segundo HARI et al.¹³, para *Betula pubescens* Ehrh., o efeito do déficit hídrico sobre a fotossíntese foi diferente do da transpiração. Sob condições de secura, a fotossíntese foi mais severamente afetada do que a transpiração. STOCKER*, citado por HARI & LUUKKANEN¹² entre tanto, comenta que o decréscimo da taxa fotossintética começa a ocorrer antes do fechamento estomático. Ele supõe que isto seja causado pelo decréscimo do conteúdo em água do citoplasma e como consequência inibe a difusão de CO₂.

Conforme KOZLOWSKI²¹, para muitas espécies, a fotossíntese começa a decrescer quando as folhas encontram-se ligeiramente desidratadas. Tal inibição é causada primeiramente pelo fechamento estomático ocasionando um decréscimo na

* STOCKER, O. Physiological and morfological changes in plants due to water deficiency. Arid Zone Res. 15: 63-104. UNESCO, Paris, 1960.

captação de CO_2 e, somente mais tarde, nos efeitos inibidores sobre o mecanismo fotossintético.

De acordo com GAASTRA*, citado por HARI et al.¹³, estudos prévios que sugeriam uma íntima correlação entre o suprimento de água, movimento estomático e taxa fotossintética caracterizavam-se pela pouca atenção dada às variações indeterminadas da resistência do mesófilo.

Entretanto, comenta PURICH³¹, investigações com déficit hídrico tem mostrado que ambas as resistências são significativamente incrementadas como resultante do baixo potencial hídrico das folhas. Quantificando estas resistências, REDSHAW & MEDNER³³, calculam que apenas 50% da redução na fotossíntese, durante o déficit hídrico, devem-se à resistência estomática, os demais 50% provavelmente são causados pelo incremento da resistência do mesófilo ou da disponibilidade de CO_2 .

PURICH³¹ constatou para quatro espécies de *Abies*, que a redução da fotossíntese com o aumento do déficit hídrico assemelha-se à transpiração e que a causa provável deste registro está ligada ao processo de transferência gasosa, já que o aproveitamento de CO_2 é um dos fatores de maior restrição à fotossíntese em plantas sob condições normais de luz e temperatura. O declínio teve início com déficit hídrico entre 9 e 11 bar para as quatro espécies e a redução em percentagem da fotossíntese por bar acrescido, nesta fase, foi de

* GAASTRA, P. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature, and stomatal diffusion resistance. Meded. Landbouwhogesch. Wageningen 59(13): 1-68, 1959.

aproximadamente 50, 15, 8 e 4 respectivamente para *Abies balsamea* (L.) Mill., *A. amabilis* Fordes., *A. lasiocarpa* (H.) Nutt. e *A. grandis* Lindley.

O'TOOLE et al.³⁰, trabalhando com *Phaseolus vulgaris* L., comentam que, embora o aumento da resistência dos estômatos pareça ser a causa primária da redução da fotossíntese líquida, o aumento da resistência do mesófilo e decréscimo da atividade da ribulose 1,5-difosfato carboxilase, desempenham importante papel entre os fatores não estomáticos.

2.3.3 INFLUÊNCIA DA ÁGUA NA RESPIRAÇÃO

Dentro de certos limites, a respiração aumenta com o aumento do teor de água do tecido e diminui quando este encontra-se desidratado.

Normalmente, a respiração das folhas não é tão afetada por pequenas variações no teor de água. Todavia, se as folhas e os ramos forem fortemente desidratados, é frequente um aumento temporário na respiração, provavelmente porque a desidratação favorece a conversão de amido em açúcar provocando assim, uma concentração mais elevada de substrato respiratório (PARKER*, in KRAMER & KOZLOWSKI²⁴).

Segundo HSIAO¹⁴, os resultados referentes ao efeito do déficit hídrico sobre a respiração, tem sido frequentemente conflitantes, mostrando um aumento ou declínio na respiração no escuro. Algumas contradições devem-se à diversificação dos diferentes níveis de deficiência hídrica juntamente

* PARKER, J. Desiccation in conifer leaves: anatomical changes and determination of the lethal level. Bot. Gaz., 114: 189-198, 1952.

com a variação em sua duração. Porém, comenta o autor, os mais recentes dados demonstram que a respiração no escuro é geralmente reduzida, de uma maneira gradual, de moderado para o severo déficit hídrico.

PURICH³¹ comenta que a respiração foi menos afetada que a fotossíntese com o incremento da deficiência hídrica. Sob ótima disponibilidade de água, as espécies *Abies grandis* Lindley, *A. amabilis* Forbes., *A. balsamea* (L.) Mill. e *A. lasiocarpa* (H.) Nuttall exibiram uma alta taxa inicial de respiração, valores estes, que variaram entre 0,38 a 7,56 mgCO₂/dm²/h. A respiração continuou estável até 7 a 10 bar. Após isto, declinou de 45 a 75% da taxa original, dependendo da espécie, estabilizando posteriormente, mesmo com o aumento do déficit hídrico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho baseia-se em dois experimentos conduzidos em épocas distintas nas dependências do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná - Curitiba.

A pesquisa "A" refere-se à influência da temperatura e luminosidade em alguns parâmetros fisiológicos de plantas jovens de Timbaúva, e a pesquisa "B" ao efeito da disponibilidade de água no crescimento e fisiologia da Timbaúva.

3.1 MATERIAL

3.1.1 PROCEDÊNCIA DAS SEMENTES

As sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. foram coletadas em junho de 1977 nas proximidades de Santa Maria - RS (29° 43'S, 53° 43'W), e cedidas pela Universidade Federal de Santa Maria. Este material foi utilizado em ambos os experimentos.

3.1.2 PRODUÇÃO DAS MUDAS

Para ambos os experimentos, as sementes foram tratadas com ácido sulfúrico 96-98% durante 25 minutos, a fim de

acelerar e uniformizar a germinação em substrato de areia. As plântulas, quando atingiram em média 2 cm de altura, foram repicadas.

A repicagem das mudas na pesquisa "A" foi feita em 12/10/77 e na pesquisa "B" em 27/3/78, aproximadamente uma semana após a sementeira.

3.1.2.1 - Substrato

Os experimentos diferiram quanto às características físicas e químicas do substrato, conforme quadro 1.

QUADRO 1 - Características físicas e químicas dos substratos

PESQUISA	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA GROSSA (%)	AREIA FINA (%)	pH	M.O. (%)	P ppm	K ppm
"A"	34	16	18	32	4,4	4,1	2,8	80
"B"	14	45	15	26	4,5	0,5	2,2	30

Análise efetuada pelo Departamento de Solos da UFSM.

O substrato usado na pesquisa "A" constituiu-se de 3 partes de terriço peneirado para uma parte de areia. Para a pesquisa "B" utilizou-se uma combinação de 60% de um solo B textural, 20% de areia e 20% de terriço peneirado, a fim de permitir uma boa drenagem com fertilidade relativa, já que seria adicionado solução nutritiva para compensar as características químicas do solo.

3.1.2.2 - Cultivo das mudas

PESQUISA "A" - As mudas após a repicagem para sacos

plásticos de pigmentação preta aerificados (18 x 7cm), permaneceram no viveiro sob condições naturais, protegidas com sombrite, até abril de 1978. Durante este período, procurou-se mantê-las bem abastecidas com água e em ótimas condições fitosanitárias. Durante o mês de maio de 1978 efetuou-se as observações eco-fisiológicas do presente trabalho.

PESQUISA "B" - O substrato utilizado foi seco a 120°C durante 24 horas e só posteriormente, introduzido nos recipientes. Cada recipiente totalizou 1400 gramas. Esta uniformização buscava facilitar a manutenção de água às plantas pelo processo gravimétrico.

Para este experimento, as mudas foram repicadas para recipientes de polietileno aerificados (21 x 8cm) e mantidas no viveiro em condições semelhantes à pesquisa "A", até o início dos tratamentos (10/7/78).

3.2 METODOLOGIA DA PESQUISA "A"

3.2.1 DETERMINAÇÃO DA FOTOSSÍNTESE, RESPIRAÇÃO E TRANSPIRAÇÃO

A determinação dos parâmetros fisiológicos de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. foi efetuada com auxílio do FITOTRON (complexo para medição de troca gasosa) fabricado pela firma Walz, Effeltrich, Alemanha Ocidental, baseando-se na diferença de concentração de CO₂ da entrada e saída do recipiente onde se encontra a planta.

O FITOTRON é um complexo composto por um analisador de gases, unidade registradora (figura 1) e pelas câmaras climatizadas de acrílico, que permite o registro e controle

de inúmeros parâmetros ecológicos, climáticos e fisiológicos ao mesmo tempo (INOUE¹⁷).

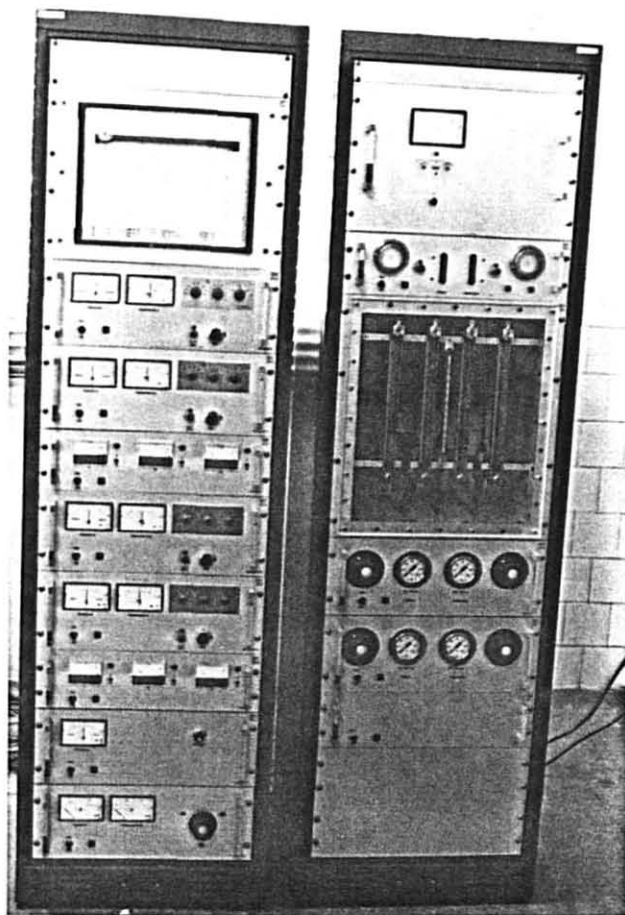


FIGURA 1: Unidades de registro e controle (à esquerda) e de CO₂ (à direita). Foto do autor.

Nas câmaras climatizadas (figura 2), onde as plantas são alojadas, podem ser simuladas diversas condições de temperatura e umidade do ar. Externamente, pode-se controlar a temperatura e intensidade luminosa.

Assim como a fotossíntese líquida e respiração, a transpiração pode ser determinada pelo FITOTRON. O equipamento determina e registra a transpiração por um circuito lateral, retirando o excedente de umidade. Este valor é resultan

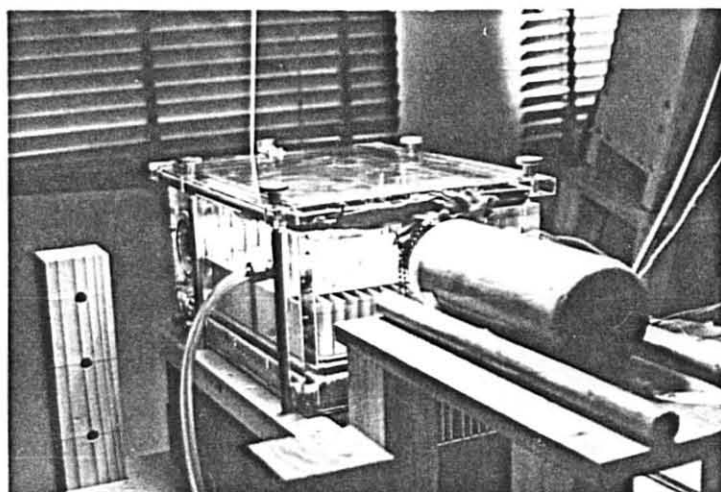


FIGURA 2: Câmara climatizada com o material a ser analisado. Foto do autor.

te da diferença de teor de umidade da entrada e saída da câmara climática que contém a planta.

3.2.2 CONDIÇÕES AMBIENTAIS DURANTE A MEDIÇÃO

Fotossíntese, respiração e transpiração foram determinadas sob as seguintes temperaturas constantes: 15° , 22° e 30°C .

As intensidades de luz testadas foram de 2, 15, 25 e 40 klux. As diferentes luminosidades foram conseguidas mediante a maior ou menor distância entre uma lâmpada de vapor de mercúrio GE-H250W-37-5 com refletor e a câmara climatizada. A utilização de um luxímetro facilitou esta operação. A respiração foi quantificada para os diferentes níveis de temperatura, posterior a intensidade luminosa mais elevada, usando-se um plástico escuro envolvendo a câmara.

A umidade relativa do ar dentro da câmara foi mantida

em 60%. As plantas antes e durante a sua avaliação eram mantidas bem irrigadas. O fluxo de ar enviado às câmaras de climatização foi de 60 litros por hora.

O tempo de medição de cada parâmetro a cada nível avaliado requereu, em média, 60 minutos.

3.2.3 DETERMINAÇÃO DAS GRANDEZAS DE RELAÇÃO

O peso do material fotossintetizante, colocado na câmara, constituído exclusivamente de folhas, foi determinado após 24 horas à 105°C, com auxílio de uma balança analítica.

Portanto, a respiração e fotossíntese líquida foram quantificadas em $\text{mgCO}_2/\text{g/h}$ e a transpiração em $\text{mgH}_2\text{O/g/d}$.

3.2.4 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

O delineamento estatístico trata-se de um fatorial inteiramente casualizado constituído de 2 fatores: temperatura, com 3 níveis (15°C, 22°C e 30°C) e luminosidade com 4 níveis (2, 15, 25 e 40 klux).

Para a medição dos parâmetros fisiológicos foram utilizados aleatoriamente 9 (nove) plantas.

Os dados referentes à fotossíntese líquida, respiração e transpiração, para efeito de análise de variância, não foram transformados. Para a comparação das médias, utilizou-se do teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

Para os cálculos de regressão, usou-se um pacote de regressão polinomial para computador HP 9830 A.

3.3 METODOLOGIA DA PESQUISA "B"

3.3.1 DETERMINAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Os recipientes, uniformemente preenchidos com substrato seco (1400 gramas), foram selecionados em número de 10, a fim de avaliar a capacidade de campo média. Através de medições contínuas, após a saturação e drenagem do excesso de água, estimou-se em 304 gramas a quantidade máxima de água que o substrato usado poderia reter (capacidade de campo). A partir deste valor, correspondendo a 100% de umidade, foi determinado os demais tratamentos, ficando assim constituídos:

Tratamento A=100% de Umidade(1400g de substrato + 304g de H_2O)

Tratamento B= 75% de Umidade(1400g de substrato + 228g de H_2O)

Tratamento C= 50% de Umidade(1400g de substrato + 152g de H_2O)

Tratamento D= 30% de Umidade(1400g de substrato + 92g de H_2O)

Tratamento E= 23% de Umidade(1400g de substrato + 71g de H_2O)

As plantas, com 15 semanas de idade, foram transportadas do viveiro para uma casa de vegetação climatizada e foram aleatoriamente distribuídas nos diferentes tratamentos. Na ocasião, foram medidas a altura e o diâmetro do colo objetivando precisar a influência dos tratamentos no crescimento quando finalizados os testes, em 26/10/78, ou seja, quando as mudas encontravam-se com a idade de 28 semanas.

3.3.2 MANUTENÇÃO DOS TRATAMENTOS

A manutenção do constante conteúdo de umidade para os diferentes tratamentos foi feita pelo progresso gravimétrico. Com auxílio de uma balança de liberação automática METTLER P

2000, adicionava-se, em média, 8 a 20 ml de água (montante variável em função da evapotranspiração dos diferentes tratamentos) diária e individualmente nas 120 mudas que comportavam o experimento. A opção por esse processo deve-se a sua simplicidade e por ser o único método que, além de permitir um controle direto do conteúdo de água no substrato, é conduzido sob condições naturais. Do ponto de vista experimental, os demais métodos e aparelhos desenvolvidos para o controle das condições hídricas do solo ainda deixam muito a desejar.

Semanalmente as plantas eram irrigadas com solução de nutrientes, a fim de compensar a baixa fertilidade do substrato usado. A solução, cuja composição é dada no quadro 2, era distribuída igualmente para todos os tratamentos em função da evapotranspiração média diária.

QUADRO 2 - Composição da solução nutritiva fornecida as plantas.

SUBSTÂNCIA	g/l	ELEMENTO	mmol/l
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	0,8265	Ca	5,0
KNO_3	0,3538	K	6,0
KH_2PO_4	0,0953	Mg	2,0
$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0,0278	N	15,0
$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0,4930	S	2,0
Sol. Micronutrientes "a" (S) 1,0 ml		P	1,0
Sol. Micronutrientes "b" (S) 1,0 ml		Fe	$2,85 \cdot 10^{-5}$
(S) Solução A-Z de Hoagland & Snyder, em SCHROPP ³⁷			

3.3.3 CONDIÇÕES AMBIENTAIS DURANTE O EXPERIMENTO

A casa de vegetação do Curso de Pós-Graduação em En

genharia Florestal da UFPR, sendo climatizada, permitiu manter condições de temperatura relativamente uniformes.

A temperatura e umidade relativa do ar foram registradas por um termohigrógrafo, tendo como temperatura média durante o dia $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e à noite $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$. A umidade relativa manteve-se em torno de $70 \pm 10\%$.

A luminosidade ao meio dia disponível para as plantas era de aproximadamente 35% da luz do dia.

3.3.4 DETERMINAÇÃO DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE MATÉRIA

Esta operação foi efetuada com a finalidade de observar a influência da disponibilidade hídrica sobre o crescimento da timbaúva.

O diâmetro do colo e a altura, como foram medidos no início do experimento, constituíram-se nos parâmetros mais importantes para a avaliação do crescimento.

A biomassa foi determinada avaliando-se o peso de matéria verde e seca para as folhas, caule, raízes finas (menores que 1 mm de diâmetro) e raízes grossas. O peso de matéria seca foi determinado após 24 horas em estufa a 105°C .

3.3.5 DETERMINAÇÃO DA TENSÃO DA SEIVA

Utilizando-se de uma câmara de pressão de SCHOLANDER (figura 3) e com auxílio de uma lupa binocular foi medida a tensão da seiva das folhas das plantas no final do experimento, de acordo com SLÁVIK⁴⁰.

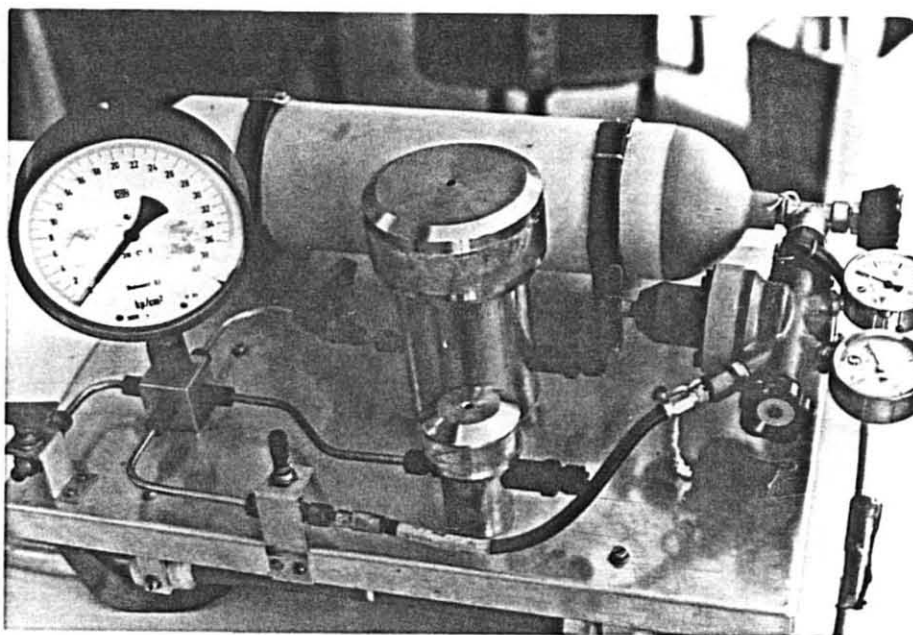


FIGURA 3: Câmara de pressão de Scholander usada na determinação da tensão da seiva. Foto do autor.

As plantas utilizadas nas medições foram retiradas aleatoriamente dentre as 24 mudas disponíveis por tratamento. A unidade de tensão registrada no aparelho foi kp/cm^2 , equivalente a 0,980665 bar.

Os resultados obtidos para a tensão da seiva foram utilizados, em substituição aos tratamentos definidos pela umidade do solo, para correlacionar com os demais parâmetros medidos da pesquisa "B", por definir uma condição fisiológica da planta.

3.3.6 DETERMINAÇÃO DA TROCA GASOSA DE CO_2

Na pesquisa "B" não foi possível determinar a transpi

ração porque o tamanho das mudas era bastante reduzido e, em consequência, a área fotossintetizante colocada nas câmaras não foi suficiente para que o aparelho registrasse o montante transpirado.

A determinação da fotossíntese líquida e respiração foi feita conforme o método já descrito para a pesquisa "A".

A fotossíntese líquida foi determinada para 5 níveis de tensão da seiva e 4 níveis de intensidade luminosa. A respiração foi avaliada para todos os níveis de tensão da seiva, condicionada pela deficiência hídrica, imediatamente após o nível de intensidade luminosa mais elevado.

A temperatura foi mantida constante para todos os níveis de avaliação em 22°C.

O tempo de medição para cada parâmetro em cada nível analisado requereu, em média, 60 minutos. A unidade relativa do ar dentro da câmara climatizada foi mantida em 60% e o fluxo de ar em 60 litros por hora.

Antecedendo a colocação do material na câmara, quando necessário, adicionava-se água ao recipiente em quantidade suficiente para manter a umidade do solo correspondente a cada tratamento.

A fotossíntese líquida e a respiração foram quantificadas em $\text{mgCO}_2/\text{g/h}$.

3.3.7 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

O ensaio referente aos parâmetros de crescimento obedeceu ao delineamento experimental inteiramente casualizado. O modelo estatístico constitui-se de 5 tratamentos com 4 re

petições, sendo que cada parcela agrupava 6 plantas, totalizando 120 plantas.

Os dados utilizados para a análise de variância não foram transformados, exceto os valores referentes à percentagem de umidade, transformados em $\arcsin\sqrt{\%}$.

Para a avaliação da troca gasosa CO_2 usou-se um modelo fatorial inteiramente casualizado constituído de dois fatores, tendo a tensão da seiva 5 níveis (determinados em função da disponibilidade de água no solo) e a luminosidade 4 níveis (2, 15, 25 e 40 klux). Foram utilizadas aleatoriamente 7 plantas.

O modelo estatístico usado para a avaliação da tensão da seiva foi o delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições extraídas aleatoriamente de cada tratamento.

Para a avaliação do crescimento, troca gasosa de CO_2 e tensão da seiva utilizou-se, para a comparação das médias, o teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Nos cálculos de regressão, foi usado um pacote de regressão polinomial para computador HP 9830 A.

4. RESULTADOS

Nos apêndices I e II encontram-se relacionados, para ambas as pesquisas, os quadros referentes à análise de variância dos parâmetros estudados.

4.1 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E LUMINOSIDADE (PESQUISA "A")

4.1.1 FOTOSSÍNTESE LÍQUIDA

Os dados da análise de variância referentes ao efeito da temperatura e intensidade luminosa sobre a fotossíntese líquida mostram significância entre os tratamentos. Quando da comparação das médias, quadro 3, observa-se o efeito marcante da alta temperatura (30°C) e da baixa intensidade luminosa (2 klux) no baixo desempenho assimilatório das plantas. Na faixa de 15° a 22°C não há diferença estatística com o aumento da luminosidade de 25 para 40 klux.

A figura 4 mostra a curva de regressão da fotossíntese líquida em função da luminosidade. Observa-se que o aumento da intensidade luminosa resulta num incremento da taxa fotossintética, atingindo um valor máximo próximo a 40 klux.

As curvas de regressão para a fotossíntese líquida, medida a diferentes temperaturas em função da luminosidade, figura 5, acusam que à baixa intensidade luminosa (2 klux), apa

QUADRO 3 - Valores médios da fotossíntese líquida ($\text{mgCO}_2/\text{g/h}$) em função da temperatura e luminosidade na pesquisa "A".

TEMP. (°C)	L U M I N O S I D A D E (klux)			
	2	15	25	40
15	0,5035 e	5,7767 cd	7,5134 abc	8,6402 ab
22	0,2484 e	5,8944 cd	8,2011 ab	9,5510 a
30	0,0000 e	3,6774 d	5,2544 cd	6,9131 bc

(§) As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

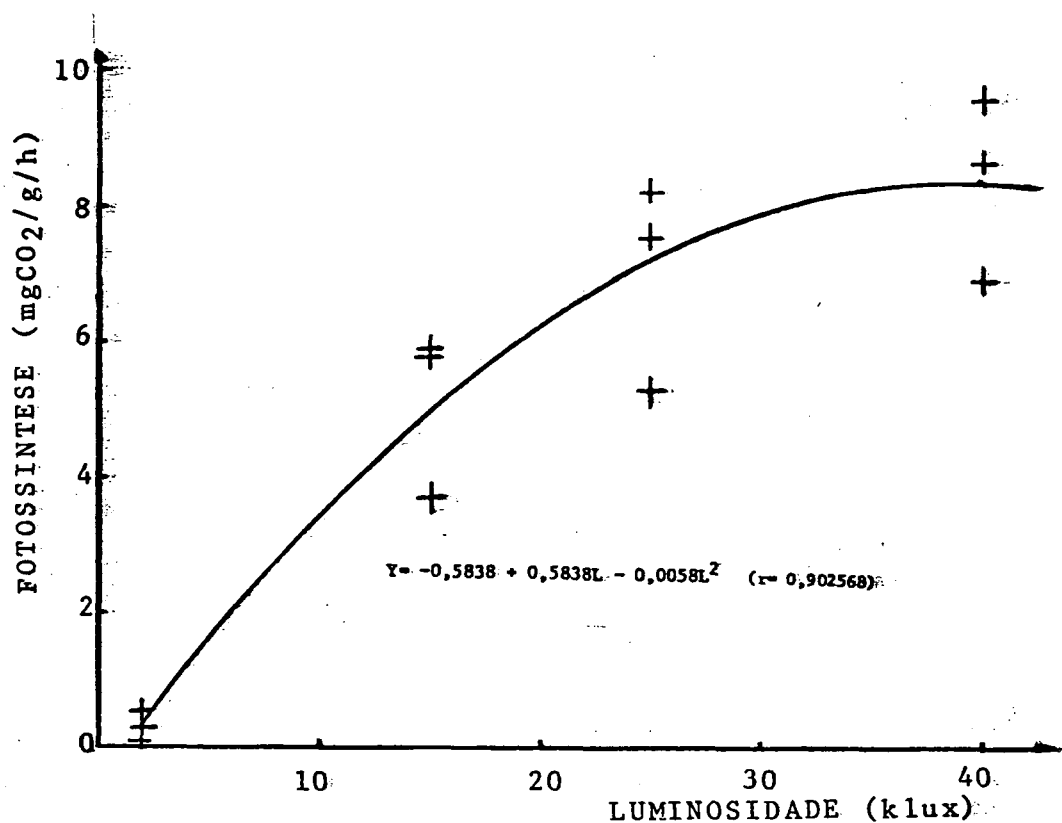


FIGURA 4: Curva de regressão da fotossíntese líquida em função da intensidade luminosa, na pesquisa "A".

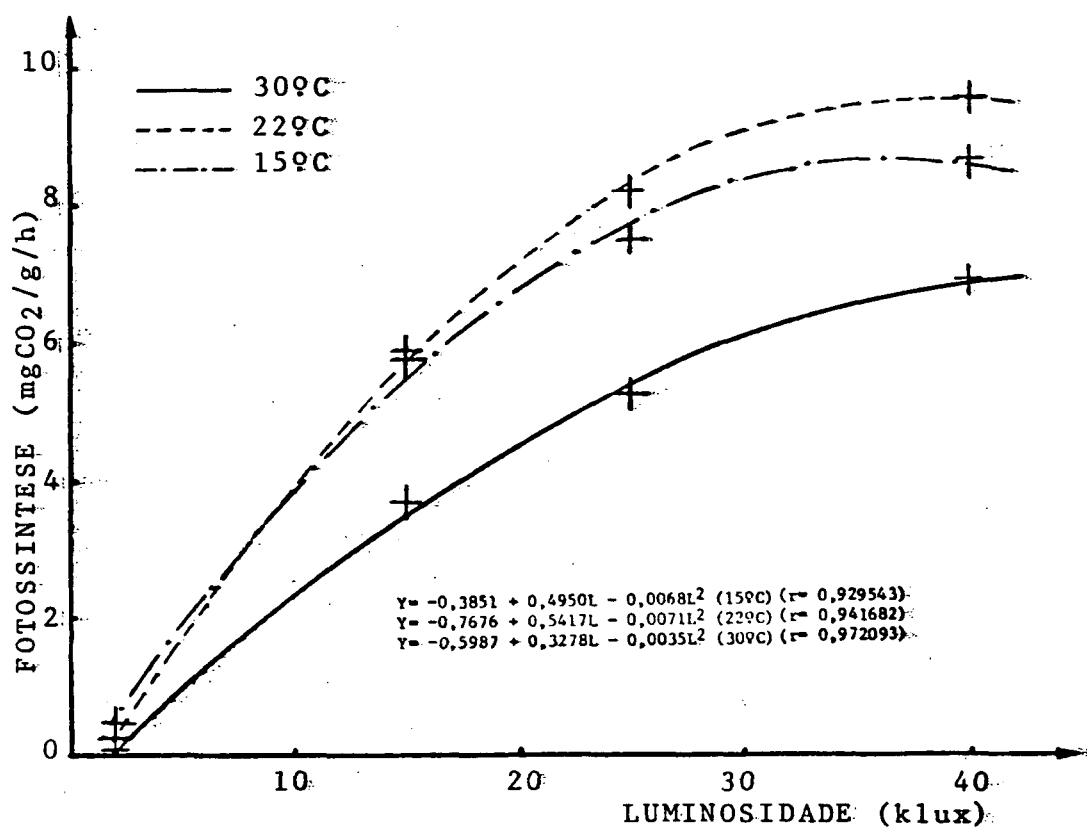


FIGURA 5: Curvas de regressão da fotossíntese líquida em função da luminosidade, para as diferentes temperaturas testadas.

rentemente um melhor desempenho ocorre a 15°C. Entretanto, com o aumento da luminosidade esta é suplantada pela curva de 22°C. Por outro lado, a menor assimilação foi registrada a 30°C, porém é a única que não apresenta um ponto de inflexão próximo a 40 klux.

Na figura 6, observa-se, aos níveis de luminosidade de 40, 25 e 15 klux, um aumento sistemático da fotossíntese líquida quando da passagem de 15 para 22°C, e, uma redução posterior quando de 22° para 30°C. Sob baixa intensidade luminosa (2 klux), a assimilação mostra-se decrescente com o aumento da temperatura.

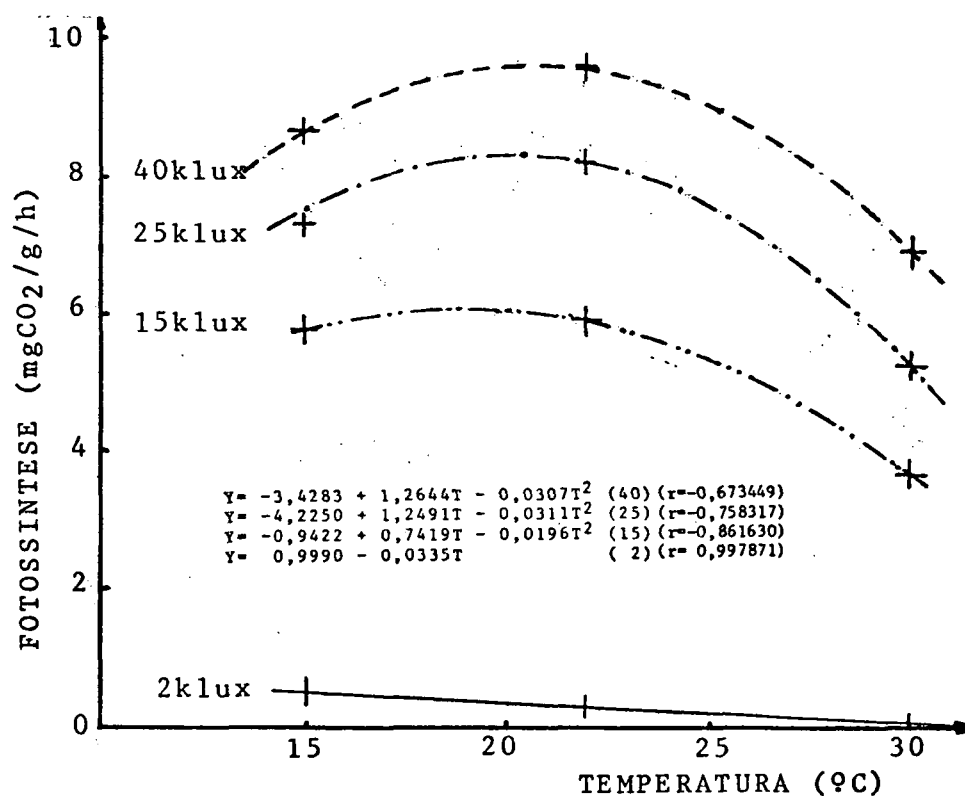


FIGURA 6: Curvas de regressão da fotossíntese líquida para as diferentes luminosidades testadas, dependentes da temperatura.

4.1.2 RESPIRAÇÃO

A respiração foi quantificada em função da temperatura. Mediante comparação das médias, verificou-se que a respiração a 15° e 22°C são estatisticamente semelhantes, porém, ambas são significativamente menores que a respiração a 30°C.

A curva de regressão da respiração, figura 7, apresenta uma elevação pouco acentuada quando sujeita a uma mudança de temperatura de 15° para 22°C. No entanto, de 22° para 30°C mostra-se visivelmente incrementada, caracterizando a influência das altas temperaturas na respiração das plantas.

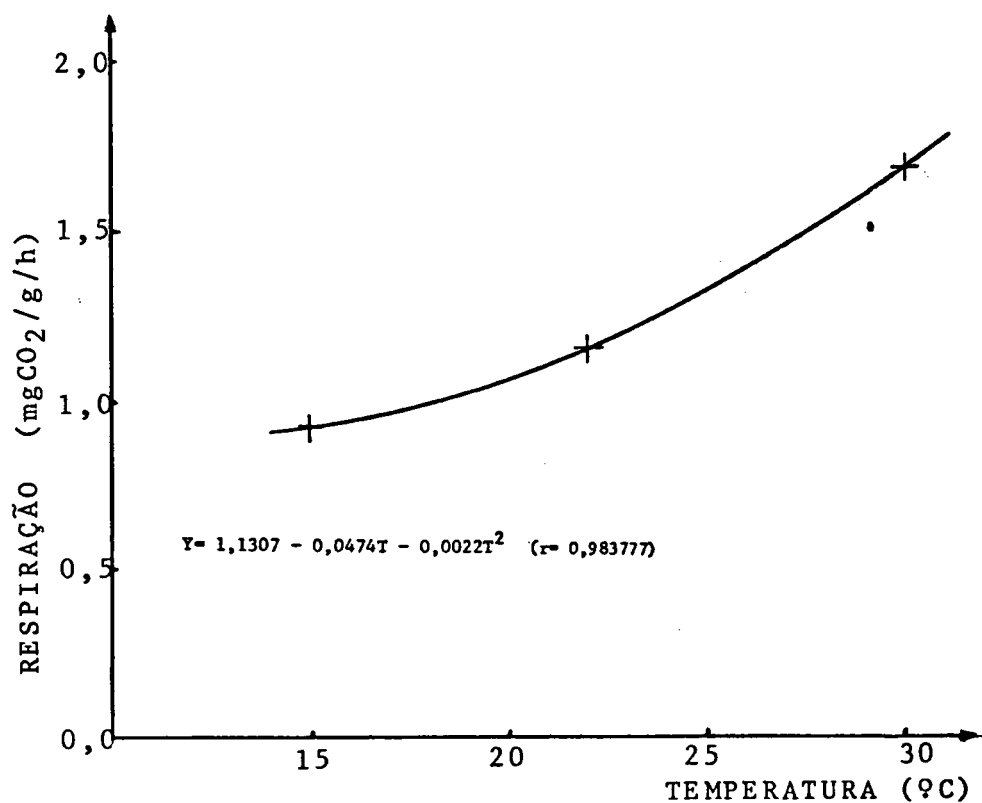


FIGURA 7: Curva de regressão da respiração em função da temperatura.

4.1.3 TRANSPIRAÇÃO

Para a transpiração, foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos e interação dos fatores luz e temperatura. Referente à comparação das médias, quadro 4, observa-se que as altas temperaturas (altos déficits de saturação) associadas às altas intensidades de luz contribuem na elevação da taxa de transpiração. Sob intensidades de 2 a 15 klux a temperatura não exerce estatisticamente influência na transpiração, assim como a 15°C em relação aos diferentes níveis de intensidade luminosa.

QUADRO 4 - Valores médios da transpiração ($\text{mgH}_2\text{O/g/d}$) em função da temperatura e luminosidade.

TEMP (°C)	L U M I N O S I D A D E (Klux)			
	2	15	25	40
15	0,3620 c	0,7346 c	0,4525 c	0,5286 c
22	1,3245 c	4,0522 c	19,0285 c	44,7075 b
30	3,8595 c	16,5181 c	44,1607 b	66,2207 a

(§) As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Conforme a figura 8, a elevação da taxa transpiratória das plantas é proporcional ao aumento da luminosidade quando a temperatura for de 30°C. À 22°C, a elevação de transpiração é lenta entre 2 e 15 klux, aumentando daí progressivamente até 40 klux, contudo, sempre a níveis mais baixos que

a 30°C. A não presença da curva de 15°C se deve a sua taxa transpiratória insuficiente, confundindo-se com o eixo das abcissas.

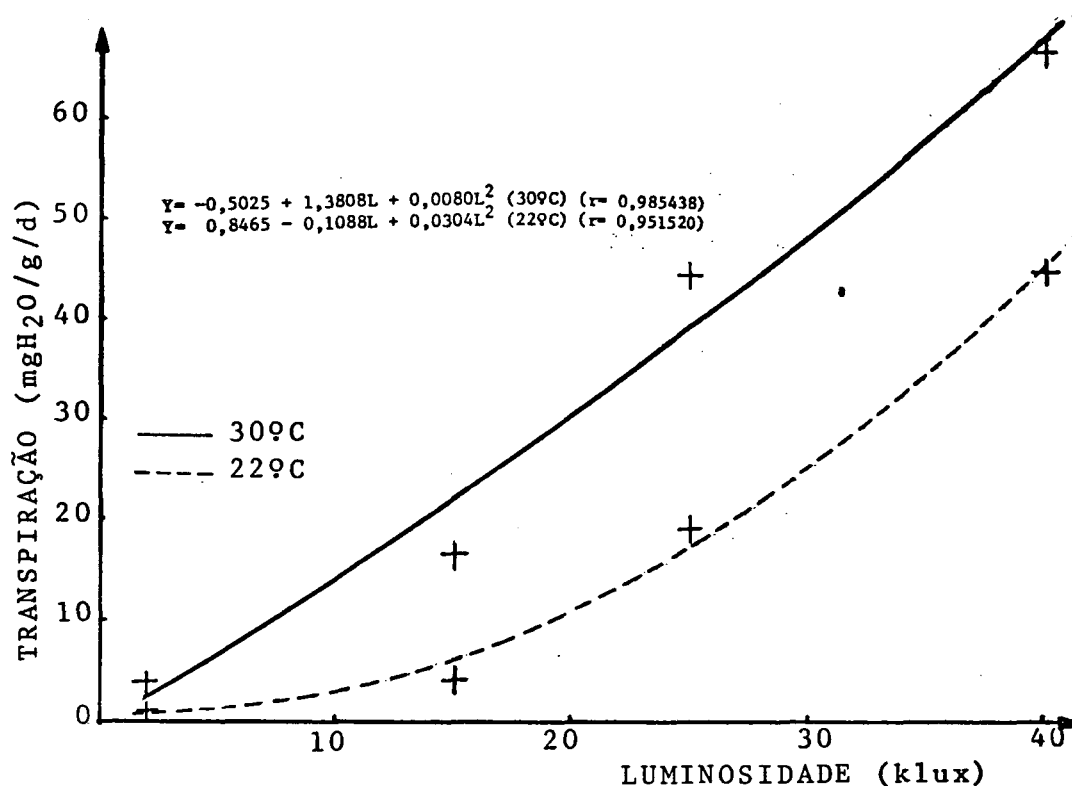


FIGURA 8: Curvas de regressão da transpiração para diferentes temperaturas, em função da luminosidade.

A Figura 9 registra as curvas de transpiração para as diferentes intensidades luminosas testadas, condicionadas pela temperatura. Observa-se que para as luminosidades de 2, 15 e 25 klux, as curvas de regressão ascendem progressivamente com o aumento da temperatura, no entanto, a curva referente a 2 klux não ascende de uma forma tão significativa. Entretanto para 40 klux, curva em que a taxa de transpiração é mais elevada, há um ponto de inflexão próximo a 30°C, indi

cando um valor máximo de transpiração quando exposta a estas condições.

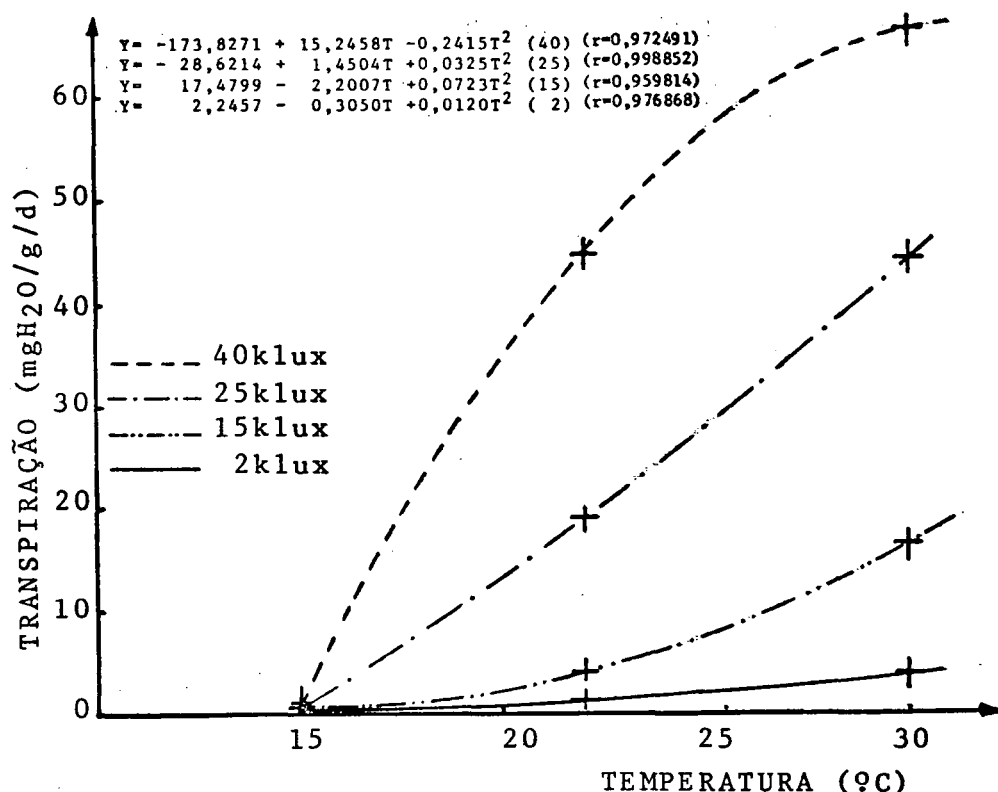


FIGURA 9: Curvas de regressão da transpiração para diferentes intensidades luminosas numa dependência da temperatura.

4.1.4 COEFICIENTE ECONÔMICO APARENTE

Baseado na respiração das plantas na escuridão, calculou-se o coeficiente econômico aparente (fotossíntese líquida/respiração). Este coeficiente serve para caracterizar o balanço de CO₂ das plantas. O resultado da análise das médias encontram-se no quadro 5.

QUADRO 5 - Valores médios do coeficiente econômico aparente dependente da temperatura e luminosidade.

TEMP (°C)	L U M I N O S I D A D E (Klux)			
	2	15	25	40
15	0,5722 gh	6,4756 bcd	8,5444 ab	9,9044 a
22	0,1878 h	5,4189 cde	7,3211 abc	8,4672 ab
30	0,0000 h	2,1733 fgh	3,1056 efg	4,0800 def

(§) As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Os coeficientes encontrados são estatisticamente semelhantes de 15° a 22°C, quando comparados sob o mesmo nível de intensidade luminosa. Nesta faixa de temperatura, são encontrados os valores mais elevados deste parâmetro. Entretanto, com exceção de 2 klux, a faixa de 30°C difere das demais em todos os níveis de intensidade luminosa, caracterizada por valores médios significativamente inferiores. Observa-se ainda, que os coeficientes a 15° como a 22°C não diferem estatisticamente com o aumento da luminosidade de 25 para 40 klux.

Na figura 10, referente às curvas de regressão do coeficiente econômico aparente em função da luminosidade, observa-se um aumento crescente do coeficiente para todas as temperaturas testadas, com o aumento da intensidade luminosa. Os maiores valores do coeficiente encontram-se a 15°C e os menores a 30°C. As curvas de 15° e 22°C apresentam um ponto de inflexão próximo a 40 klux, o que não acontece com a de 30°C.

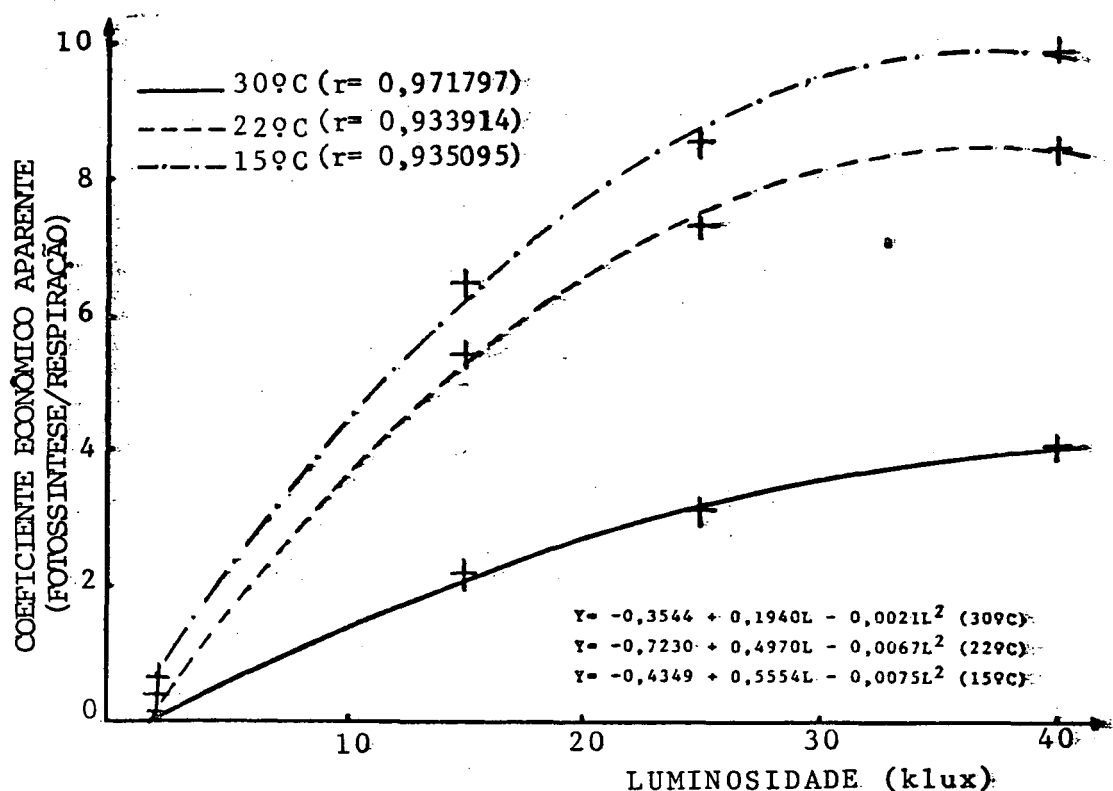


FIGURA 10: Curvas de regressão do coeficiente econômico aparente para as temperaturas testadas dependentes da intensidade luminosa.

4.1.5 EFICIÊNCIA DA TRANSPIRAÇÃO

A eficiência da transpiração foi determinada pela relação entre a fotossíntese líquida e a transpiração para as temperaturas de 22°C e 30°C, conforme a figura 11.

A eficiência da transpiração a 22°C mostra-se crescente até 15 klux. Deste ponto até 40 klux a eficiência da transpiração decresce. Fato semelhante ocorre à temperatura de 30°C porém, neste caso, os valores médios da eficiência da transpiração são aproximadamente 6 vezes menores aos da temperatura de 22°C.

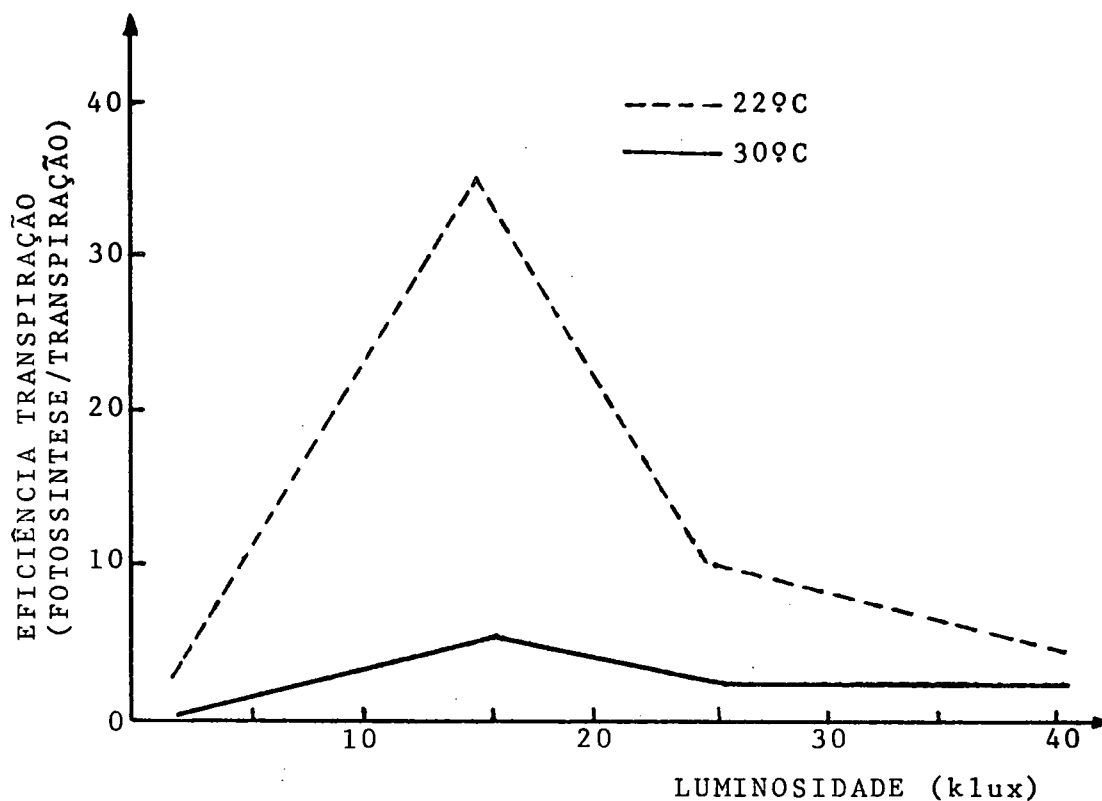


FIGURA 11: Curvas representativas da eficiência da transpiração média para as temperaturas de 22°C e 30°C, em função da luminosidade.

4.2 EFEITO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA (PESQUISA "B")

4.2.1 TENSÃO DA SEIVA

Os valores da tensão da seiva encontrados nas folhas de timbaúva, que expressam fisiologicamente as condições hídricas a que as plantas estavam submetidas através dos diferentes regimes de irrigação, estão no quadro 6. Observa-se que a redução sistemática da disponibilidade de água no solo gera um aumento da tensão da seiva. Este aumento manifesta

se de uma forma estatisticamente significativa, ao nível de 95% de probabilidade, para todos os tratamentos.

QUADRO 6 - Valores médios da tensão da seiva (TS) em bar, nas folhas de plantas condicionadas a diferentes níveis de disponibilidade hídrica do substrato.

TRAT	A	B	C	D	E
TS(bar)	1,34 a	2,36 b	5,70 c	8,14 d	11,78 e

(§) As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

A,B,C,D,E = vide a correspondência na página 28.

4.2.2 INFLUÊNCIA DA TENSÃO DA SEIVA E LUMINOSIDADE NA FOTOSÍNTESE LÍQUIDA

A fotossíntese líquida, conforme quadro 7, sob baixa intensidade luminosa (2 klux) não difere significativamente em relação aos diferentes níveis de tensão da seiva. Entretanto de 15 a 40 klux esta diferença manifesta-se a partir do tratamento D (8,14 bar). A fotossíntese líquida, quando condicionada pela mesma tensão da seiva, mostra-se estatisticamente semelhante de 25 a 40 klux, exceto no tratamento B.

A fotossíntese líquida, independente dos níveis de tensão da seiva, conforme figura 12, aumenta com o aumento da intensidade luminosa. Esta característica também se manifesta nas curvas de regressão individual. Observa-se que com o aumento da tensão da seiva, há uma redução gradativa da fotossíntese líquida (figura 13), para todos os níveis de intensidade luminosa, notadamente de 15 a 40 klux.

QUADRO 7 - Valores médios da fotossíntese líquida ($\text{mgCO}_2/\text{g/h}$) em função da tensão da seiva e luminosidade.

LUMINOS. (klux)	T E N S Ã O D A S E I V A (bar)				
	A(1,34)	B(2,36)	C(5,70)	D(8,14)	E(11,78)
2	0,0814 i	0,1219 i	0,1007 i	0,0975 i	0,1910 i
15	3,8758cedf	3,7408cedf	2,8651 efg	2,2247 fg	1,8752 gh
25	5,8617 ab	5,3861 bc	4,5286bcde	3,5743defg	3,2890defg
40	7,4874 a	7,4121 a	6,1531 ab	5,0073 bcd	4,6223 bcd

(S) As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

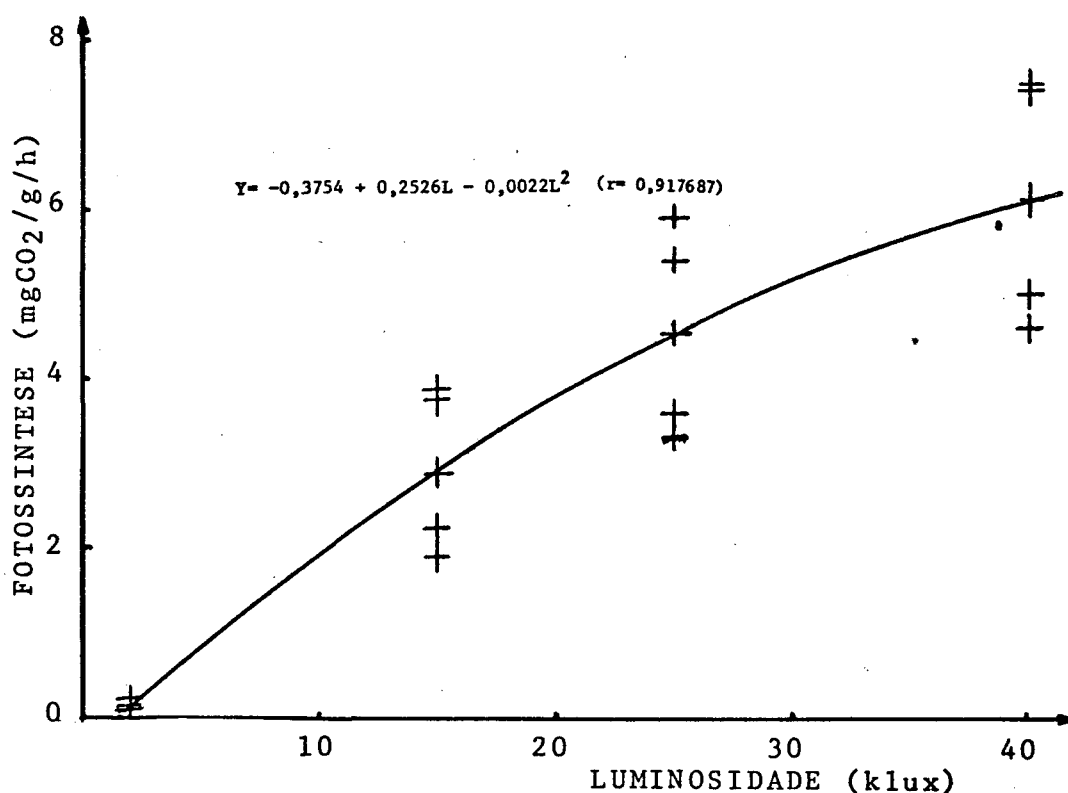


FIGURA 12: Curva de regressão da fotossíntese líquida dependente da intensidade luminosa, na pesquisa "B", a 22°C

sidade luminosa, notadamente de 15 à 40 klux.

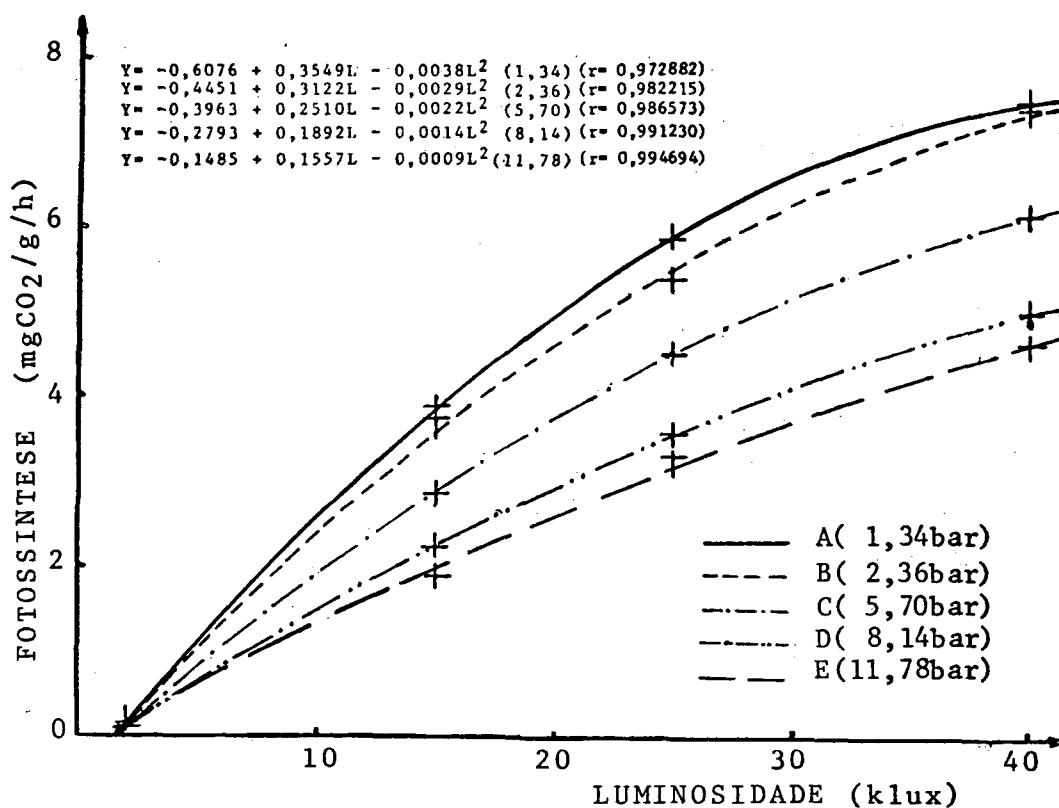


FIGURA 13: Curvas de regressão da fotossíntese líquida para diferentes níveis de tensão da seiva em função da luminosidade, a 22°C

Com relação à assimilação para cada intensidade luminosa testada, dependente da tensão da seiva, registra-se uma redução gradativa quando da passagem de níveis de tensão menores para maiores, conforme a figura 14. Esta tendência, no entanto, não é observada sob baixa intensidade luminosa (2 klux), que se caracteriza por uma taxa fotossintética relativamente constante de 1,34 a 11,78 bar.

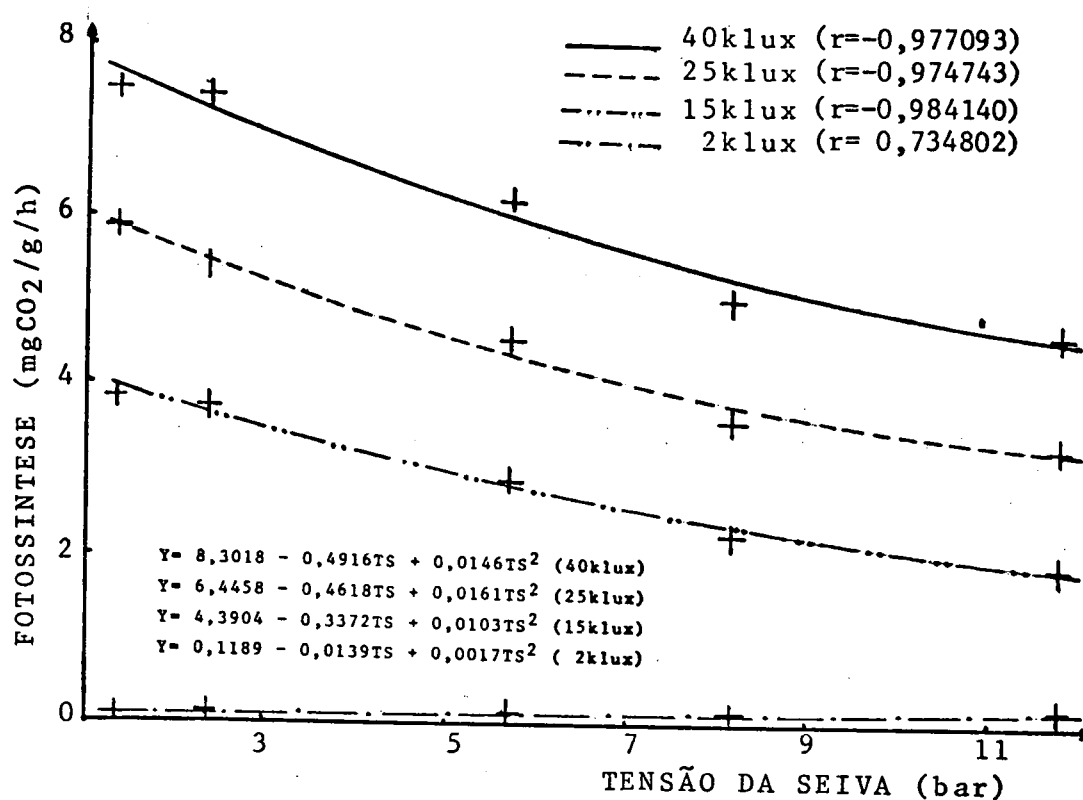


FIGURA 14: Curvas de regressão da fotossíntese líquida para os diferentes níveis de luminosidade dependentes da tensão da seiva.

4.2.3 RESPIRAÇÃO

A respiração, conforme o quadro 8, é influenciada pela tensão da seiva. Níveis de tensão da seiva de 1,34 a 5,70 bar não diferem estatisticamente, assim como, de 2,36 a 11,78 bar.

QUADRO 8 - Valores médios da respiração ($\text{mgCO}_2/\text{g/h}$) para diferentes tensões da seiva (bar)

TS (bar)	A(1,34)	B(2,36)	C(5,70)	D(8,14)	E(11,78)
RESPIRAÇÃO	1,2029 a	0,9876 ab	0,9393 ab	0,5683 b	0,3924 b

(§) As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Na figura 15 observa-se que a respiração decresce linearmente com o aumento da tensão da seiva.

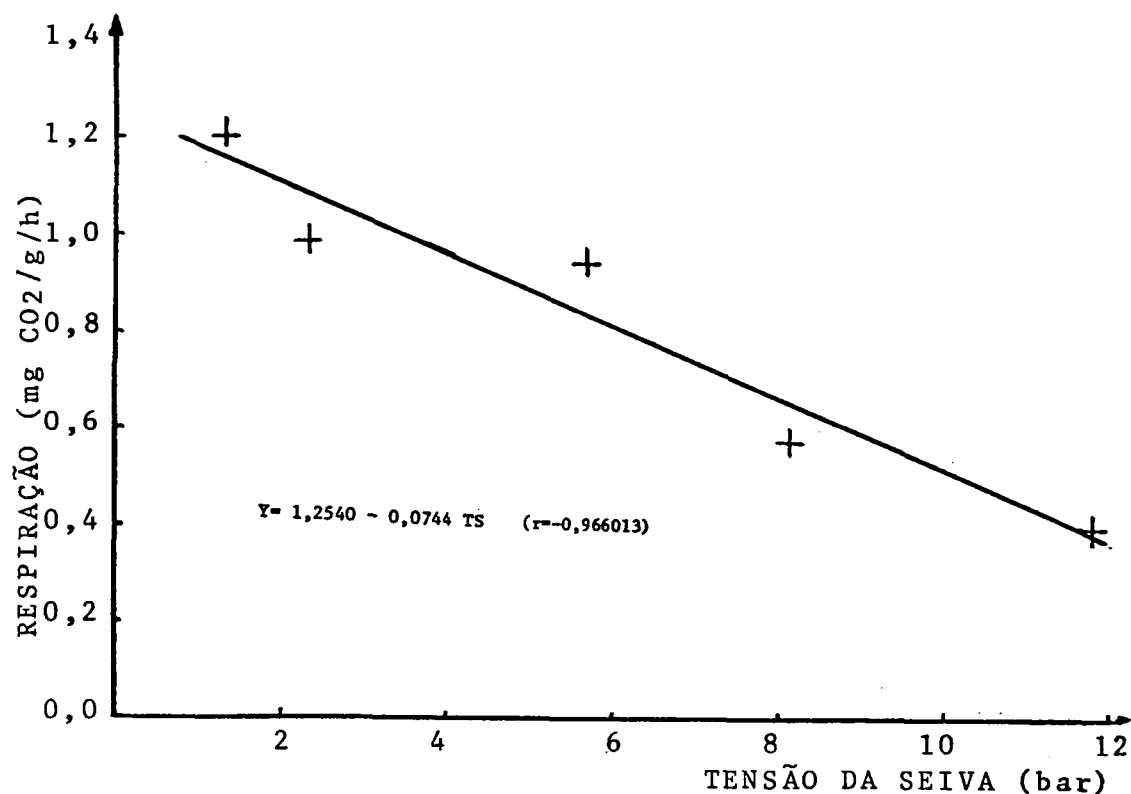


FIGURA 15: Curva de regressão da respiração dependente da tensão da seiva.

4.2.4 INFLUÊNCIA DA TENSÃO DA SEIVA E LUMINOSIDADE NO COEFICIENTE ECONÔMICO APARENTE

Detectou-se diferenças significativas nos valores do coeficiente econômico aparente, quando as plantas estavam sob tensão da seiva acima de 1,34 bar, em todos os níveis de intensidade luminosa, com exceção de 2 klux. Aqui foram observados os menores valores do coeficiente. Os maiores coeficientes foram observados entre 25 e 40 klux e detectou-se uma nítida diminuição dos valores com o aumento da tensão da

seiva até 8,14 bar, elevando-se novamente em 11,78 bar, conforme o quadro 9.

QUADRO 9 - Valores médios do coeficiente econômico aparente em função da luminosidade e tensão da seiva.

LUMINOS. (klux)	T E N S ã O D A S E I V A (bar)				
	A(1,34)	B(2,36)	C(5,70)	D(8,14)	E(11,78)
2	0,1429 i	0,1429 i	0,1429 i	0,2857 i	0,2857 i
15	5,4671 cd	4,1186 ef	2,7614 gh	2,0714 h	2,2857 h
25	8,3786 b	5,9286 ef	4,3329 ef	3,5000 fg	4,4286 ef
40	10,6500 a	8,2857 b	5,6186 cd	4,6786 de	6,2857 c

(S) As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Observa-se na figura 16 que há, com o aumento da intensidade luminosa, um aumento pronunciado do coeficiente

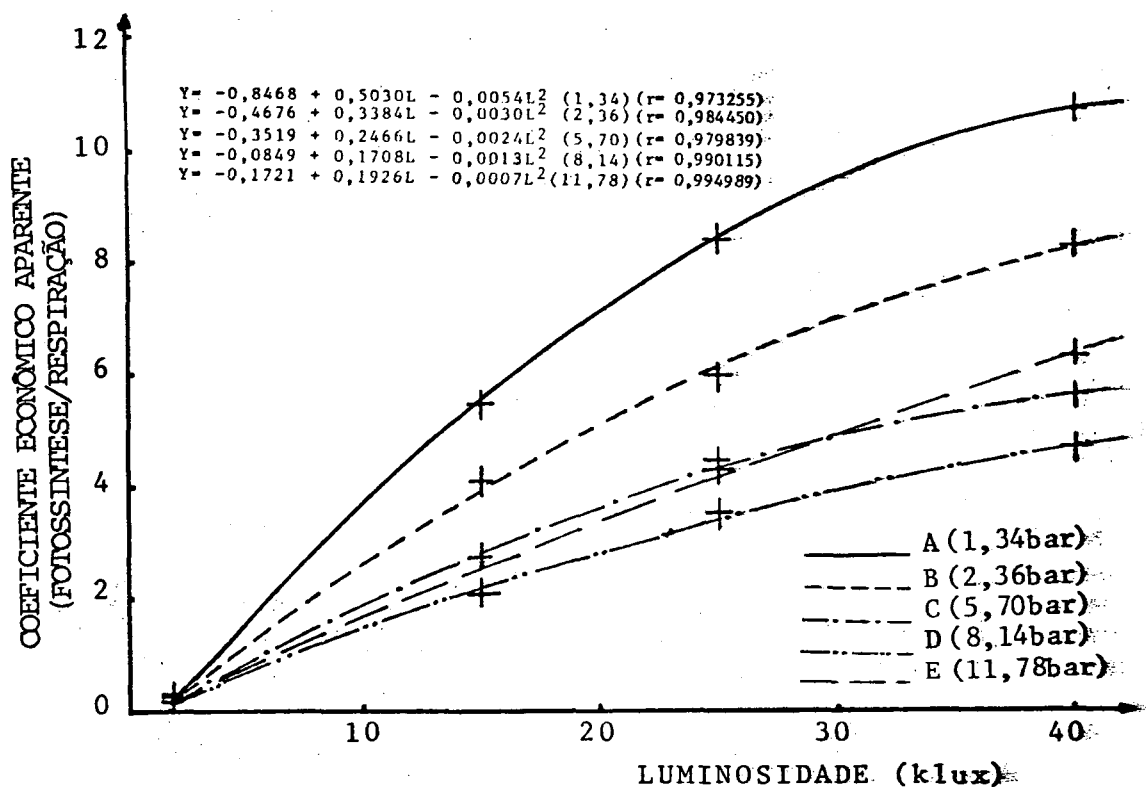


FIGURA 16: Curvas de regressão do coeficiente econômico aparente para os níveis de tensão da seiva função da luminosidade.

econômico aparente para todos os níveis de tensão da seiva. A curva desenvolvida pelo tratamento A (1,34 bar) suplantou todos os demais em todos os níveis de luminosidade, exceto 2 klux. Nota-se que sob tensões de 11,78 bar e luminosidade máxima, esta curva suplanta as curvas de tensões inferiores, como as de 8,14 e 5,7 bar.

4.2.5 EFEITO DA TENSÃO DA SEIVA NO CRESCIMENTO

4.2.5.1 - Incremento do diâmetro do colo e altura

O diâmetro do colo e altura, como foram quantificados no início dos tratamentos, constituem-se as duas variáveis mais expressivas para a avaliação do crescimento real das mudas de *Enterolobium contortisiliquum*.

No quadro 10, observa-se que com o aumento da tensão da seiva há uma redução tanto do incremento do diâmetro do colo como da altura das plantas. Notadamente a altura é severamente influenciada por tensões superiores a 1,34 bar, ao passo que o diâmetro do colo somente com tensões superiores 5,70 bar.

As figuras 17 e 18 ilustram, através das curvas de regressão, a influência da tensão da seiva no incremento da altura e diâmetro do colo respectivamente. Estas curvas ratificam as informações do quadro 10 em que, com o aumento da tensão da seiva, há uma redução no incremento destes parâmetros.

QUADRO 10 - Incremento do diâmetro do colo e altura, em mm, após 14 semanas, nos diferentes níveis de tensão da seiva.

TS (bar)	I N C R E M E N T O (mm)	
	DIÂMETRO COLO	ALTURA
A (1,34)	0,9150 a	15,040 a
B (2,36)	0,7525 ab	9,335 b
C (5,70)	0,6475 ab	7,790 bc
D (8,14)	0,5475 b	5,872 cd
E (11,78)	0,5325 b	3,580 d

(S) As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

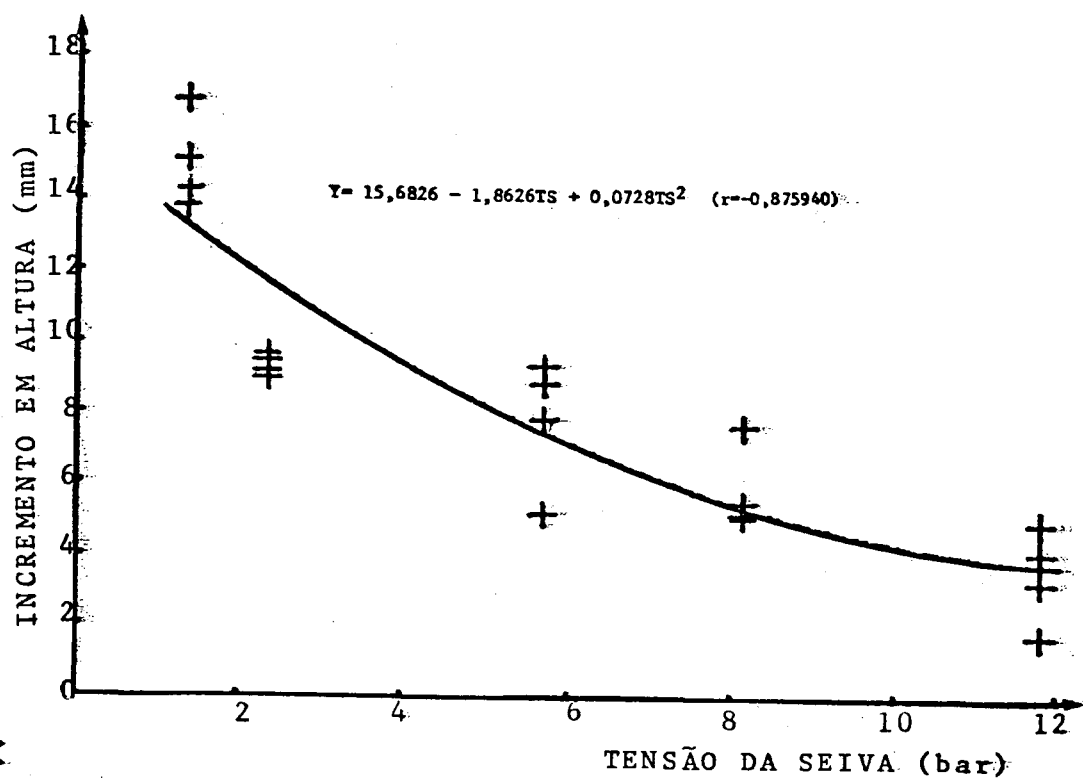


FIGURA 17: Curva de regressão do incremento em altura em função da tensão da seiva, para plantas com 14 semanas.

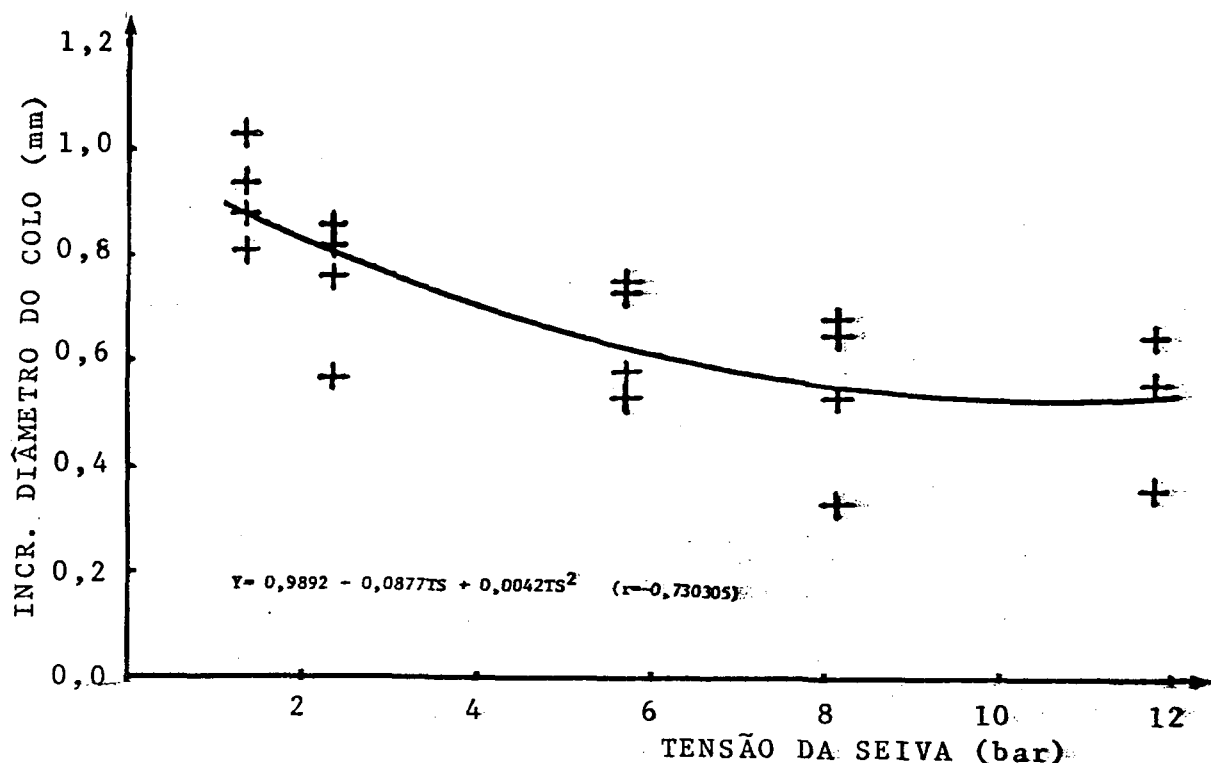


FIGURA 18: Curva de regressão do incremento do diâmetro do colo em função da tensão da seiva, para plantas com 14 semanas.

4.2.5.2 - Peso de matéria verde e seca

A disponibilidade de água promoveu alterações na biomassa. Mesmo sob um curto período de observação, de 14 semanas, registraram-se diferenças significantes principalmente nas partes mais sensíveis, como as raízes finas e as folhas, conforme o quadro 11. Entretanto estes valores quando analisados em função do peso de matéria seca, especialmente em raízes finas, as diferenças não foram estatisticamente comprovadas.

A percentagem de umidade mostra-se estatisticamente diferente para raízes finas, raízes grossas e caule a tensões

QUADRO 11 - Peso de matéria verde e seca das plantas condicionadas pelos diferentes regimes de irrigação.

TS (bar)	PESO MATÉRIA VERDE (g)				PESO MATÉRIA SECA (g)			
	R.Finas	R.Grossas	Caule	Folhas	R.Finas	R.Grossas	Caule	Folhas
A(1,34)	1,3301 a	1,1746 b	0,8067 a	0,4349 a	0,1799 a	0,4418 bc	0,3613 a	0,1234 a
B(2,36)	1,2411 a	1,5031 a	0,7502 a	0,4002 ab	0,1840 a	0,5641 a	0,3605 a	0,1300 a
C(5,70)	1,2530 a	1,3042 ab	0,7501 a	0,3751 bc	0,1817 a	0,5086 ab	0,3454 a	0,1199 a
D(8,14)	0,9341 ab	1,2462 b	0,8133 a	0,3373 c	0,1871 a	0,5486 a	0,3971 a	0,1157 ab
E(11,78)	0,7203 b	0,7995 c	0,6700 a	0,2575 d	0,1617 a	0,3769 c	0,3393 a	0,0928 b

(§) As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

superiores a 5,7 bar. Para as folhas esta diferença estatística manifesta-se já a partir de 1,34 bar (quadro 12).

QUADRO 12 - Percentagem de umidade, em relação ao peso seco, dependente do nível de tensão da seiva.

TS (bar)	P E R C E N T A G E M		U M I D A D E	
	R.Finas	R.Grossas	Caule	Folhas
A (1,34)	639,55 a	166,70 a	123,81 a	253,48 a
B (2,36)	572,29 a	169,60 a	111,09 a	208,22 bc
C (5,70)	589,62 a	156,60 a	117,12 a	213,84 b
D (8,14)	399,39 b	127,25 b	105,42 b	193,07 cd
E (11,78)	346,82 b	112,12 b	97,96 b	177,31 d

(§) As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Nas figuras 19, 20, 21, 22 e 23 encontram-se o sistema radicular representativo para cada tratamento investigado. Observa-se que nos tratamentos D e E as raízes finas são injuriadas e que estas, apesar de estarem parcialmente secas, mantem-se aderidas à raiz principal.

Com relação ao peso foliar, observa-se na figura 24 que o tratamento com menor disponibilidade hídrica promoveu a queda das folhas mais velhas, reduzindo substancialmente a área fotossintetizante. As folhas jovens desenvolvidas durante os tratamentos eram extremamente pequenas, particularmente nos tratamentos D e E. Estes resultados podem ser comprovados no quadro 10, que com o aumento da tensão, há uma redução do peso foliar verde e seco.

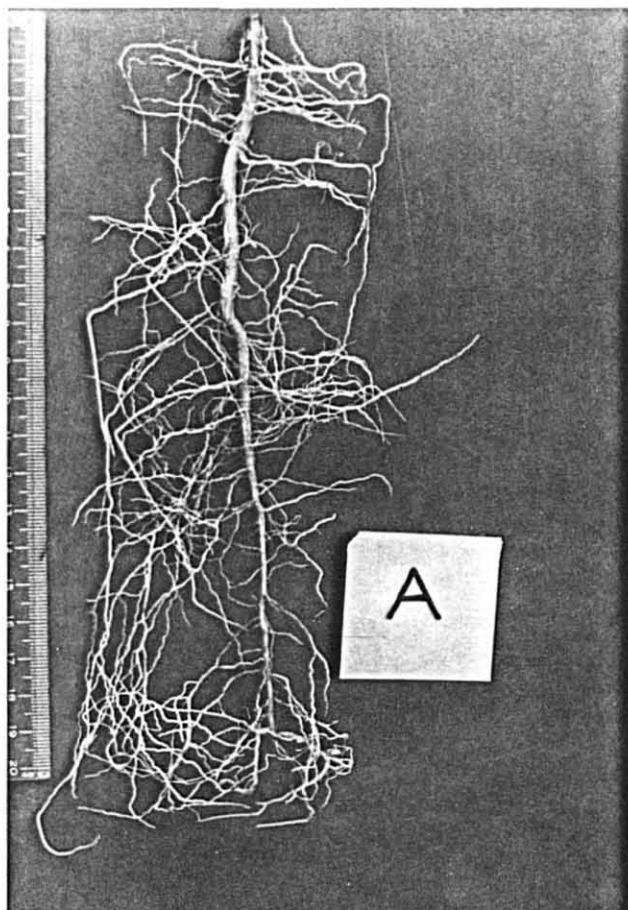


FIGURA 19: Sistema radicular representativo das plantas do tratamento A (1,34 bar).

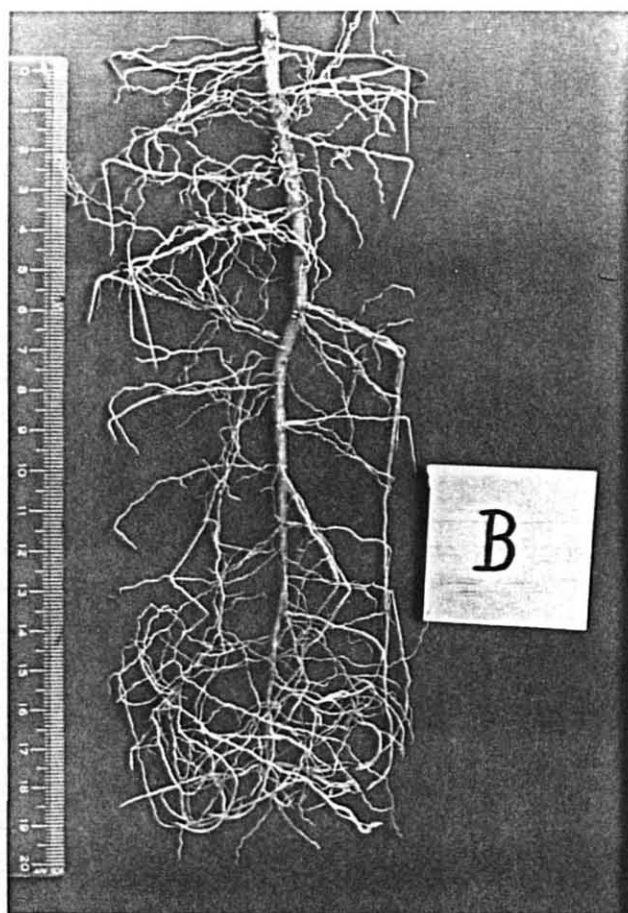


FIGURA 20: Sistema radicular representativo das plantas do tratamento B (2,36 bar).

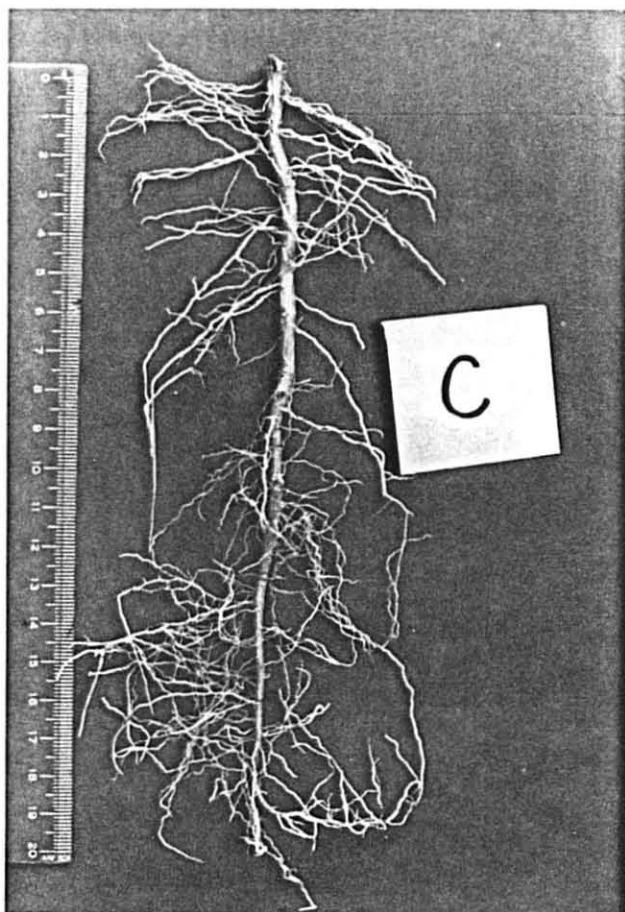


FIGURA 21: Sistema radicular representativo das plantas do tratamento C (5,70 bar).

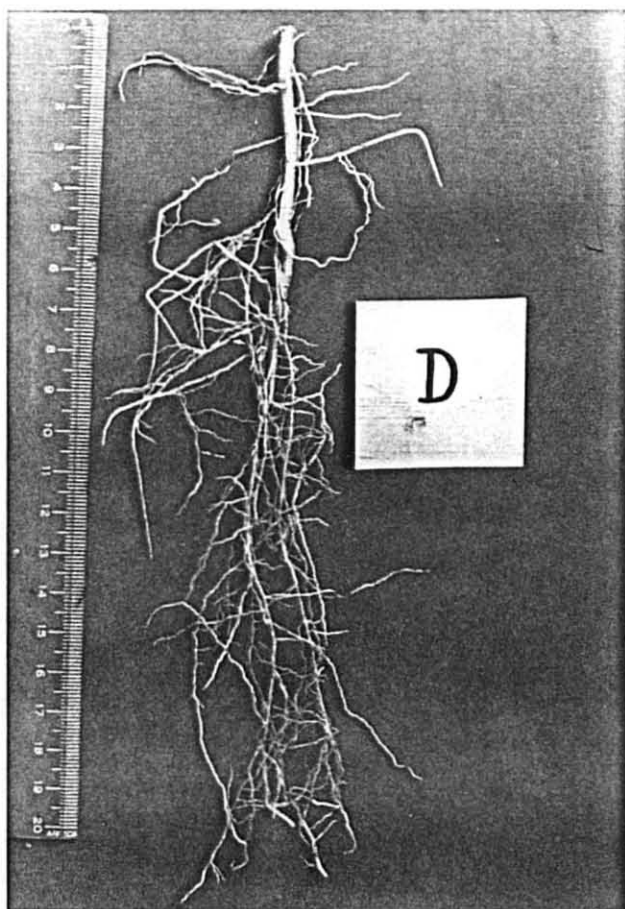


FIGURA 22: Sistema radicular representativo das plantas do tratamento D (8,14 bar).

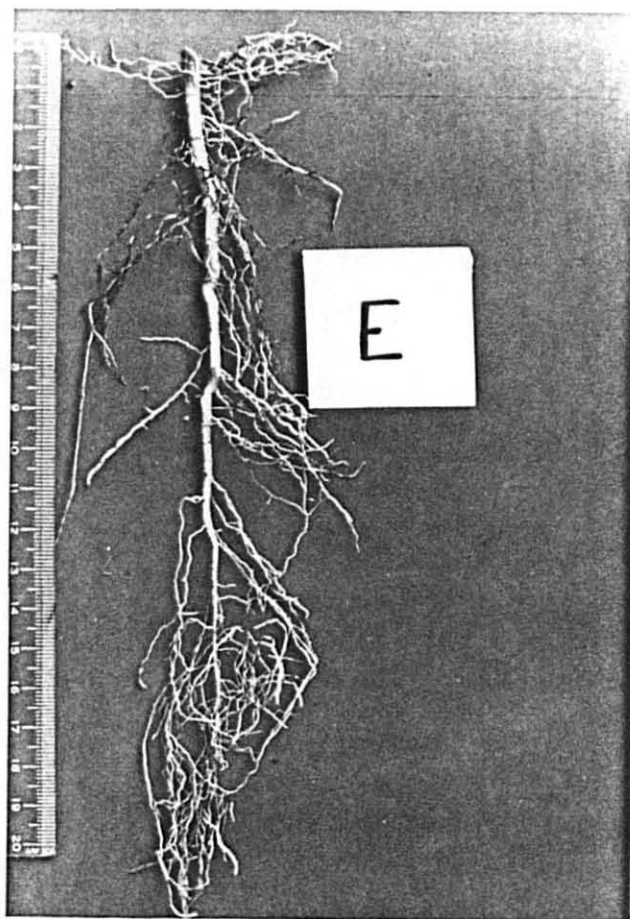


FIGURA 23: Sistema radicular representativo das plantas do tratamento E (11,78 bar).

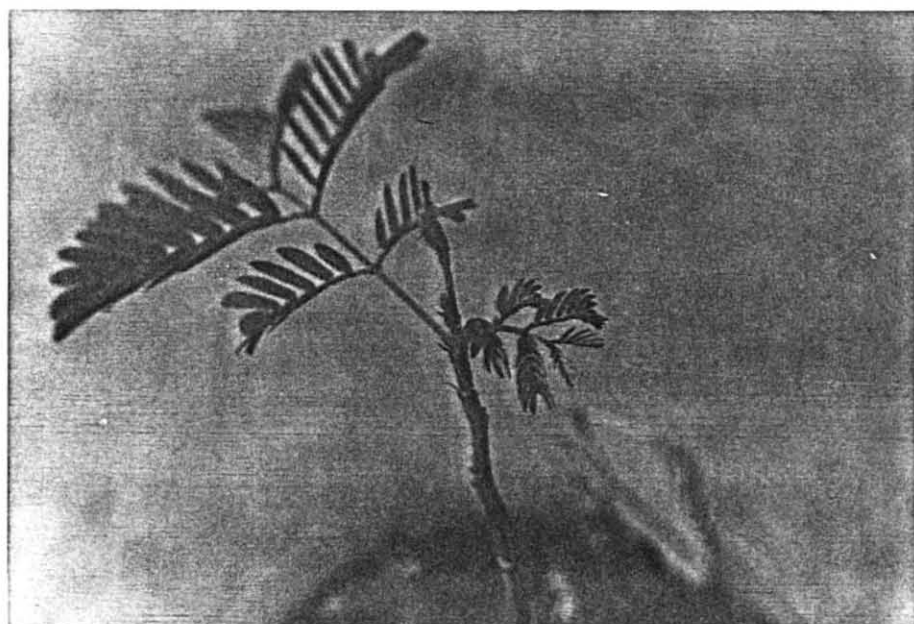


FIGURA 24: Planta do tratamento E. Observa-se uma redução no número de folhas (apenas duas) e no tamanho dos folíolos (à direita).

5. DISCUSSÃO

5.1 INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE LUMINOSA E TEMPERATURA

5.1.1 FOTOSÍNTESE LÍQUIDA E RESPIRAÇÃO

A fotossíntese líquida em função da luminosidade, figura 4, aumenta com o aumento da intensidade de luz até aproximadamente 40 klux. Nesta faixa, ou seja, sob a máxima luminosidade testada, a curva de assimilação atinge seu valor máximo. Fato similar também ocorre com as curvas individuais da temperatura, representadas na figura 5. Esta regularidade de comportamento está vinculada ao ponto de saturação luminosa, que para o material e a época testada encontra-se a 40 klux. Neste particular, é exceção a curva de 30°C que não demonstra sintomas de saturação lumínica até o nível máximo de luminosidade testado. Ocorre que para cada temperatura, há uma variação no ponto ótimo da assimilação de luz, conforme WEBER citado por INOUE¹⁶. Possivelmente nestas condições o aumento da luminosidade incrementa mais a taxa fotossintética do que exerce influência sobre a elevação da respiração. Com isto o ponto de saturação luminosa verifica-se a luminosidade superiores a 40 klux.

Tomando-se como base a afirmativa feita por LARCHER²⁵, que sugere que folhas adaptadas a luz apresentam uma satura

ção luminosa entre 25 e 50 klux, associado aos resultados obtidos por BORMAN⁴ com *Pinus taeda*, pode-se constatar, através da fotossíntese líquida, o caracter heliófilo desta espécie. Estes resultados ratificam as informações fornecidas por FERREIRA et al.¹⁰, com timbaúva, sugerindo-a como uma espécie heliófila na fase juvenil. Por outro lado, os resultados obtidos diferem dos encontrados para *Picea engelmannii* (RONCO³⁶) e *Piptocarpha angustifolia* (SEITZ³⁸), consideradas plantas umbrófilas por apresentar saturação luminosa inferior a 30 klux.

Segundo BONNER & GALSTON³ e LARCHER²⁵, com intensidades luminosas débeis, a troca fotossintética de gases pode permanecer inferior à respiração. No entanto, quando a intensidade de luz aumenta, atinge o ponto em que a troca fotossintética de gases se equilibra com a taxa respiratória. Neste ponto, o intercâmbio líquido de gases é nulo e recebe o nome de ponto de compensação. No presente caso a timbaúva, sob baixa intensidade luminosa (2 klux) e a 30°C encontra-se no ponto de compensação luminosa, devido a assimilação ser equivalente a respiração. Este comportamento não é comprovado para as temperaturas de 15 a 22°C, já que nesta faixa são registrados quantitativos de fotossíntese líquida, indicando que o ponto de compensação ocorre a luminosidades inferiores a 2 klux. Estes valores encontram-se dentro da amplitude proposta por LARCHER²⁵ para essencias heliófilas (1 a 1,5 klux), uma vez que para as plantas umbrófilas o ponto de compensação situa-se entre 0,3 e 0,6 klux.

No presente trabalho, observa-se para *Enterolobium contortisiliquum* que os maiores valores da capacidade fotos

sintética foram alcançadas à temperatura de 22°C sob luminosidade de 10 a 40 klux. Possivelmente este resultado deve-se às condições climáticas dominantes durante o período vegetativo na zona de procedência do material testado. Resultados semelhantes foram encontrados para *Cedrela fissilis* (INOUE¹⁶), *Alnus incana* (HARI & LUUKKANEN¹¹), *Pinus resinosa*, *Pinus taeda* (DECKER, citado por KRAMER²²) e *Artemisia tridentata* (DEPUIT & CALDWELL⁸). Por outro lado, sob a mais baixa intensidade luminosa testada a assimilação mostra-se decrescente com o aumento da temperatura, tendo como melhor nível 15°C. Isto ratifica a afirmativa de MITSCHERLICH* citado por INOUE¹⁶ em que o ótimo de temperatura adapta-se a intensidade luminosa, pois em condições naturais as baixas intensidades de luz correspondem as baixas temperaturas e vice-versa.

Analisando os valores médios da fotossíntese líquida dependentes da temperatura, conforme o Quadro 3, observa-se uma semelhança estatística entre 15°C e 22°C assim como entre 15°C e 30°C para os níveis de luminosidade mais elevados. Isto equivale dizer que, sob a mesma intensidade luminosa a diferença existente não é estatisticamente significativa. Todavia, esta diferença apesar de não ser detectada pelo teste estatístico efetuado, fisiologicamente é importante, já que demanda numa produção primária diversificada e acusa, através de valores médios, condições ideais para a melhor performance da espécie em estudo.

Com relação ainda à fotossíntese líquida, evidencia-se que a timbaúva exposta à temperatura de 30°C, apresenta

* MITSCHERLICH, G. Wald, Wachstum und Umwelt. Frankfurt, J.D. Sauerländer's Verlag, 1975. v. 3.

um desempenho inferior às demais temperaturas testadas em todos os níveis de intensidade luminosa. Estes resultados ajustam-se ao aumento da respiração, notadamente na faixa de 30°C. Conforme KRAMER²², a redução da fotossíntese devido ao aumento da temperatura é induzida frequentemente por um déficit de saturação nas folhas com consequente fechamento estomático e redução na captação de CO₂. O baixo desempenho da timbaúva quando exposta a 30°C, possivelmente ainda está vinculada a época de execução do trabalho (maio), já que as condições térmicas dominantes eram inferiores.

Para a timbaúva não se evidenciou a atuação do fator tempo, responsável pela redução progressiva da taxa respiratória, uma vez que a respiração mostrou-se crescente com o aumento da temperatura. O aumento da temperatura de 15°C para 30°C ocasionou uma respiração 2 vezes maior para a espécie em estudo. Isto é resultante de que o ótimo da respiração encontra-se a temperaturas superiores à fotossíntese, conforme STREET & OPIK⁴² e DECKER citado por KRAMER & KOZLOWSKI²⁴.

5.1.2 TRANSPIRAÇÃO

É conhecido que a transpiração, dentro de certos limites que não causam danos, aumenta com o aumento do déficit de saturação. No presente caso, as mudas de timbaúva demonstraram uma maior taxa transpiratória quando submetidas a 30°C. Segundo KRAMER & KOZLOWSKI²⁴ se a umidade absoluta do ar se mantém inalterável à medida que a temperatura se eleva, a pressão de vapor de água do ar aumenta em proporção com o acréscimo da temperatura absoluta; porém, a pressão de va

por das superfícies de evaporação saturadas existentes no interior das folhas aumenta com rapidez resultando um acentuado acréscimo no gradiente da pressão de vapor de água da folha para o ar.

A espécie estudada, quando expostas a 15°C , apresentou uma baixa transpiração, não diferindo estatisticamente com o aumento da intensidade luminosa. Este resultado indica que a temperatura, nesta faixa, exerce um efeito decisivo na taxa transpiratória, já que o aumento da intensidade luminosa (movimento estomático) não resulta em um consequente aumento da transpiração. Entretanto, as curvas referentes às temperaturas de 22° e 30°C comportam-se de uma maneira diferente.

As curvas de 30° e 22°C na faixa de 2 a 15 klux apresentam valores relativamente baixos de transpiração. Constatou-se justamente neste intervalo que os folíolos da timbaúva mantinham-se total ou parcialmente fechados. Na figura 8, devido ao ajuste diferencial das curvas, esta constatação torna-se prejudicada, porém no quadro 4, observa-se uma diferença estatisticamente significativa em relação aos níveis de luminosidade mais altos.

Portanto, nota-se uma substancial influência da luminosidade na taxa de transpiração, uma vez que se verifica um aumento crescente para as plantas submetidas a temperaturas de 22° e 30°C , notadamente de 25 a 40 klux. O efeito de luminosidade na transpiração é determinado pela abertura e fechamento estomático (MEYER et al.²⁸, KRAMER & KOLOWSKI²⁴, LARCHER²⁵).

5.1.3 COEFICIENTE ECONÔMICO APARENTE

O coeficiente econômico aparente determina a faixa em que a interação dos fatores ambientais estudados implicam numa maior economia. Em síntese, demonstra o balanço de CO_2 através do quociente entre a fotossíntese líquida e a respiração.

No Quadro 5, observa-se que o coeficiente econômico aparente não difere significativamente nas faixas de 15° a 22°C para as luminosidades de 25 e 40 klux, onde se encontra os valores médios mais altos deste coeficiente. Entretanto, na faixa de 15°C , tomando-se como base os valores absolutos, os coeficientes são sempre superiores às demais temperaturas para todos os níveis de luminosidade (Figura 10).

Os maiores valores registrados na faixa de 15°C devem-se fundamentalmente à baixa respiração. Com isto, a fotossíntese líquida a 15°C , mesmo sendo inferior a 22°C , não foi suficiente para reduzir o coeficiente. Por outro lado, a curva de 30°C mostra-se extremamente inferiorizada em relação às demais. Neste caso além da respiração mais elevada, os valores da fotossíntese líquida foram baixos.

A redução do coeficiente econômico aparente de aproximadamente 1/3 quando da passagem de 15° para 30°C , independente da luminosidade, resulta em uma diminuição na acumulação de carboidratos e, em consequência, afeta o seu crescimento. Os valores encontrados para a timbaúva demonstram que a planta torna-se mais "econômica", para os diferentes níveis de luminosidade quando expostas a 15°C , muito embora os valores desta faixa não diferem estatisticamente da temperatura de 22°C .

Segundo LYR et al.²⁷, relacionando fotossíntese bruta com a respiração, comenta que as folhosas decíduas assimilam de 5 a 20 vezes mais do que respiram, sob condições de saturação luminosa e temperatura ótima. As coníferas, de 4 a 8 vezes. No presente trabalho, a timbaúva nestas condições, encontra-se dentro da amplitude proposta para folhosas, já que apresenta um coeficiente de 8,5 a 9,9 (na verdade os valores encontrados seriam ainda maiores se fossem tomados com base na fotossíntese bruta).

5.1.4 EFICIÊNCIA DA TRANSPIRAÇÃO

A figura 11 mostra, para as curvas de temperatura de 22°C e 30°C, que a eficiência da transpiração parte de um valor mínimo a 2 klux e atinge um máximo a 15 klux, reduzindo posteriormente com o aumento da intensidade luminosa. O declínio da eficiência da transpiração deve-se a um aumento não pronunciado da fotossíntese líquida de 15 para 40 klux e evidentemente a um aumento substancial da taxa transpiratória nesta faixa. Esta tendência demonstra que a timbaúva é mais eficiente na utilização de água sob baixas intensidades luminosas, produzindo mais matéria seca por unidade de água transpirada em ambientes sombreados.

O comportamento da timbaúva assemelha-se a duas outras espécies nativas, como *Piptocarpha angustifolia* (SEITZ³⁸) e a *Cedrela fissilis* (INOUE¹⁶), cuja maior eficiência encontra-se entre 16 e 20 klux.

5.2 INFLUÊNCIA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

5.2.1 TENSÃO DA SEIVA

Com a redução da disponibilidade hídrica do solo, tendo como base a proximidade da capacidade de campo do substrato, ocorreu, um aumento substancial na tensão da seiva. Este aumento decorre de um déficit hídrico interno comprovado pela redução da percentagem de umidade nos diferentes órgãos da planta, conforme quadro 11.

Convém salientar que a tensão da seiva não retrata o potencial hídrico do substrato. MILLER* citado por ZAHNER⁴³ observou, para mudas de *Pinus taeda* cultivadas em recipientes, que plantas próximas à capacidade de campo, equivalente a um tratamento de baixa tensão, apresentaram um potencial hídrico das folhas de -5 atm, consideravelmente alto quando comparado ao do solo, que foi de -0,5 atm.

5.2.2 FOTOSÍNTESE LÍQUIDA

Segundo DEVLIN⁹, muito antes de que uma deficiência em água atue como inibidor da fotossíntese de uma maneira direta, os efeitos indiretos da escassez de água fazem-se sentir sobre a totalidade do sistema vivo. Naturalmente este efeito retardará a fotossíntese, assim como os outros processos vitais do mecanismo biológico.

* MILLER, L.M. Changes in radiosensitivity of pine seedlings subjected to water stress during chronic gamma irradiation. Health Phys., 11, 1653, 1965.

No presente trabalho, a fotossíntese líquida estatisticamente não difere para as faixas de 15, 25 e 40 klux até tensões de 5,7 bar. Entretanto, observa-se na figura 13, que com o aumento da tensão da seiva há um decréscimo na fotossíntese líquida para todos os níveis de luminosidade testada. O mesmo ocorre para as curvas de luminosidade com o aumento da tensão da seiva (figura 14). Esta redução na fotossíntese deve-se as resistências estomática e do mesófilo causadas pelo baixo potencial hídrico (KRAMER²³; MEYER et al.²⁸; REDSHOW & MEIDNER³³, HARI & LUUKKANEN¹², PURICH³¹; HARI et al.¹³).

Segundo SLAVIK*, citado por CRAFTS⁶, esta redução com o decréscimo do potencial hídrico resulta de três efeitos:

- a) fechamento estomático induzindo uma redução no suprimento de CO_2 ;
- b) alteração na estrutura citoplasmática afetando a atividade enzimática;
- c) desidratação da cutícula, epiderme e células adjacentes reduzindo sua atividade e permeabilidade ao CO_2 .

A curva de 2 klux, figura 14, caracteriza-se por uma taxa fotossintética relativamente constante ou estatisticamente semelhante de 1,34 a 11,78 bar. Este comportamento possivelmente deve-se à redução substancial da respiração (tomado como base a respiração no escuro) condicionada pela tensão

* SLAVIK, B. The influence of decreasing hydration level on photosynthetic rate in the thalli of the hepatic *Conocephallum conicum*. In: Water stress in plants. (B. Slavik, ed), Proc. Symp. Prague, 1963. 195 p. Czech. Aca. Sci., Prague, 1965.

da seiva fazendo com que a fotossíntese líquida torne-se uniforme.

A timbaúva, independente da análise estatística, mostrou-se sensível à disponibilidade hídrica pois, valores de tensão da seiva superiores a 1,34 bar provocaram declíneo na fotossíntese líquida. Seu comportamento difere dos resultados obtidos por PURICH³¹ para quatro espécies de *Alnus*, em que a redução da taxa fotossintética só ocorreu entre 9 e 11 bar.

Observa-se na figura 13, que os maiores valores da fotossíntese líquida foram registrados a 40 klux, semelhante a pesquisa "A". Porém, neste caso o ponto de saturação luminosa, para todos os níveis de tensão da seiva, encontra-se acima da máxima intensidade de luz testada. Possivelmente isto deve-se às condições de luminosidade durante o cultivo. As mudas por serem condicionadas a aproximadamente 35 klux demonstraram uma adaptação fisiológica para o aproveitamento da luz nesta faixa. Fato semelhante ocorreu com *Araucaria angustifolia*, descrita por INOUE et al.¹⁸.

5.2.3 RESPIRAÇÃO

Os resultados obtidos indicam que a respiração não difere estatisticamente até tensões de 5,7 bar. Observa-se na figura 15, que com o aumento da tensão da seiva há uma redução linear da respiração. Estes resultados diferem da afirmativa de PARKER, citado por KRAMER & KOZLOWSKI²⁴, que frequentemente há um aumento temporário da respiração devido à desidratação, porque favorece a conversão de amido em açúcar provocando uma maior concentração de substrato respiratório.

Por outro lado, HSIAO¹⁴ pondera, em conformidade com o presente estudo, que a respiração no escuro é geralmente reduzida de uma maneira gradual, do moderado para o severo déficit hídrico. Esta redução resulta, segundo CRAFTS⁶, da diminuição do substrato respiratório devido à baixa taxa fotossintética. Comenta ainda, que como a maioria, senão todas as reações químicas que caracterizam o processo respiratório são enzimáticas e desde que a função, assim como a estrutura das enzimas são afetadas pelo estado de água na planta, parece que a respiração está sujeita ao regime de hidratação dos tecidos.

5.2.4 COEFICIENTE ECONÔMICO APARENTE

O coeficiente econômico aparente aumenta com o aumento da intensidade luminosa e decresce com o aumento da tensão da seiva condicionado pela mesma intensidade luminosa. Entretanto, quando as plantas foram submetidas a 11,78 bar para todos os níveis de luminosidade, observou-se um coeficiente mais elevado que nos dois tratamentos que antecedem esta tensão. Este comportamento deve-se à pouca diferença registrada entre a fotossíntese líquida nos últimos três níveis de tensão associado a uma respiração pronunciada no nível de tensão mais elevado.

Observa-se que as plantas submetidas a 1,34 bar diferem estatisticamente dos demais tratamentos, para todos os níveis de luminosidade, com exceção de 2 klux. Isto demonstra que a timbaúva apresenta um balanço positivo de CO₂ superior quando exposta a tensões de 1,34 bar, ou seja, próximo a capacidade de campo.

5.2.5 EFEITO DA TENSÃO DA SEIVA NO CRESCIMENTO

5.2.5.1 - Incremento em altura e diâmetro do colo

Observa-se no quadro 9 que o incremento da altura e do diâmetro do colo são sensíveis as limitações da disponibilidade hídrica, A altura mostra-se sensível a tensões superiores a 1,34 bar. Este comportamento assemelha-se a *Shorea robusta* (SETH & SRIVASTAVA²⁹), *Liriodendron tulipifera* (LUFTUS²⁶), *Pinus taeda*, *P. echinata* (STRANSKI & WILSON⁴¹) e *Eucalyptus saligna* (ANDRAE¹). *Cordia trichotoma* e *Araucaria angustifolia*, citadas por ANDRAE¹, mostram-se mais eficientes em solos cuja tensão média encontra-se entre 0,3 e 0,5 atm (0,3 e 0,5 bar).

O diâmetro do colo apresentou uma sensibilidade somente sob tensões superiores a 5,7 bar. Isto deve-se, além dos efeitos internos ocasionados pela disponibilidade de água, à lenta diferenciação do diâmetro do colo nesta fase, o que é peculiar para esta espécie, conforme estudos já efetuados (Ritmo de crescimento de plantas jovens de timbaúva - Relatório, a publicar).

5.2.5.2 - Peso de matéria verde e seca

O peso de matéria verde das plantas, quadro 10, foi influenciado pela tensão da seiva. Observa-se que as partes mais sensíveis das plantas, como folhas e raízes finas, apresentam uma redução da biomassa à medida que a deficiência hídrica é

intensificada. Neste particular, as folhas diferem estatisticamente quando expostos a tensões superiores a 2,36 bar e as raízes finas somente após a 8,17 bar. As raízes grossas apresentaram um comportamento semelhante ao das raízes finas, no entanto, esta diferenciação não foi observada para o caule.

O peso de matéria seca não apresentou diferença significativa para as raízes finas e caule. Observa-se ainda, que as folhas apresentam uma semelhança estatística até tensões de 8,17 bar. Estas informações resultam da menor percentagem de umidade existente nos órgãos sujeitos a maiores tensões. Com isto, houve uma aproximação dos valores extremos, compensados pela percentagem de umidade decrescente com o aumento da tensão da seiva.

Possivelmente, a pouca diferenciação registrada no peso de matéria deve-se à baixa fertilidade do substrato usado, mesmo associado a irrigações frequentes com solução nutritiva. Esta afirmativa é resultante do rápido crescimento observado em viveiro ou sob condições naturais na fase juvenil.

As folhas, notadamente no tratamento E, foram severamente afetadas em forma e em número. Este comportamento reduziu a área fotossintetizante, tendo como consequência uma redução marcante no crescimento global das plantas. Os resultados encontrados visualmente assemelham-se as observações efetuadas por KRAMER²³, KRAMER & KOZLOWSKI²⁴, DAVIES & KOZLOWSKI⁷ e ZAHNER⁴³.

MILLER citado por ZAHNER⁴³ comenta que para *Pinus taeda*, o potencial hídrico das folhas está intimamente correlacionado com a alongação das acículas e que estas sujei

tas a -10,2 atm crescem duas vezes menos que as acículas com -3,6 atm.

O sistema radicular após 14 semanas de condicionamento acusou modificações, notadamente nos tratamentos D e E. Observa-se que nestes tratamentos, as raízes finas devido a pouca disponibilidade de água, foram injuriadas, Entretanto estas alterações não foram sentidas no peso de matéria seca, devido às partes injuriadas não se desprenderem da raiz principal, como também pela percentagem de unidade mais elevada nos demais tratamentos.

Conforme ZAHNER⁴³ a injúria física no sistema radicular, em especial nas raízes laterais, é frequente em plantas submetidas a secura. Comenta ainda, que o sistema radicular de plantas desenvolvidas em solos próximo a capacidade de campo mostram-se mais exuberantes.

6. CONCLUSÕES

6.1 FATORES LUZ E TEMPERATURA

Neste trabalho estudou-se o efeito da temperatura e luminosidade na fotossíntese líquida, respiração e transpiração para *Enterolobium contortisiliquum*. As principais informações obtidas foram:

1. A espécie em estudo apresenta-se como heliófila no estágio juvenil, sob o ponto de vista da saturação e compensação lumínica da fotossíntese líquida assim como do coeficiente econômico aparente;
2. O nível de luminosidade ótima, para a obtenção de maiores quantitativos de produção primária, depende da temperatura ambiental. Para a timbaúva, sob baixa intensidade luminosa (2 klux), a maior taxa fotossintática é registrada a 15°C, ao passo que de 10 a 40 klux o melhor desempenho é observado a 22°C;
3. O ponto de compensação lumínico varia em função da temperatura. Sob altas temperaturas (30°C) o equilíbrio da troca de gases ocorre a 2 klux, sendo que para as temperaturas inferiores o ponto de compensação situa-se abaixo desta luminosidade;
4. A transpiração é influenciada, além da temperatura, pela

intensidade luminosa, notadamente na faixa de 22°C e 30°C. No entanto, a 15°C a luminosidade não exerce qualquer influência na taxa transpiratória;

5. Em ambientes sombreados a timbaúva mostra-se mais eficiente quanto a produção de matéria seca por unidade de água transpirada, caracterizado pelo cálculo da eficiência da transpiração.

6.2 FATOR ÁGUA

Neste trabalho estudou-se o efeito da disponibilidade hídrica na fotossíntese líquida, respiração, incremento em altura e diâmetro do colo e no peso de matéria verde e seca para *Enterolobium contortisiliquum*. As principais conclusões são:

1. Com a redução da disponibilidade de água no solo, ocorre uma elevação no déficit hídrico interno da planta, afetando, em consequência, importantes processos fisiológicos, tais como, fotossíntese e respiração e, em última análise, o crescimento global;
2. A espécie em estudo apresenta um maior desempenho quando o solo encontra-se próximo a capacidade de campo (1,34 bar de tensão da seiva), comprovado pelos quantitativos da fotossíntese líquida e do coeficiente econômico aparente;
3. Sob tensões superiores a 8,14 bar as folhas são reduzidas e sofrem alterações morfológicas. Por outro lado, nesas condições, as raízes finas são visivelmente injuria

das;

4. O crescimento em altura e do diâmetro do colo apresenta um comportamento diferencial quanto à disponibilidade de água. O incremento em altura mostra-se sensível a tensões superiores a 1,34 bar, ao passo que o diâmetro do colo somente a tensões acima de 5,7 bar.

6.3 IMPORTÂNCIA SILVICULTURAL DO ESTUDO

Baseado nas informações obtidas através do estudo eco-fisiológico de *Enterolobium contortisiliquum*, este trabalho fornece diretrizes básicas para orientar o plantio desta espécie, quer como produtora de madeira, quer como opção para recomposição ou manutenção do equilíbrio ecológico. Estas informações, portanto, servem para auxiliar a silvicultura da espécie em estudo. Neste sentido, as principais conclusões são:

1. Devido a heliofilia comprovada para a timbaúva, recomenda-se, para um rápido crescimento na fase juvenil, um sistema silvicultural compatível com as suas necessidades fisiológicas. Para tanto, sugere-se plantio, p. ex., a céu aberto ou similares que possibilitem uma disponibilidade efetiva de luz. Por outro lado, esta espécie poderia também desempenhar a função de proteção para outras espécies nativas umbrófilas na fase juvenil (Pinheiro brasileiro, Cedro, etc.) quando da implantação de povoamentos mistos; em um regime de sub-plantação;
2. No tocante as características edáficas, recomenda-se, pa

ra a timbaúva, solos que apresentam uma boa disponibilidade, de água durante o período de franco crescimento:

3. Objetivando um melhor crescimento para a espécie em estudo, torna-se conveniente associar as condições hídricas do sítio com características nutricionais favoráveis do solo.

7. RESUMO

O presente trabalho foi conduzido nas dependências do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, com o intuito de apresentar algumas informações ecofisiológicas para plantas jovens de timbaúva - *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.-, em relação à intensidade luminosa, temperatura ambiental e disponibilidade hídrica.

Para tanto, foram instalados dois experimentos totalmente independentes, a fim de estudar os efeitos da luminosidade e temperatura de um lado e o da disponibilidade hídrica de outro na fotossíntese, transpiração, respiração, crescimento em altura e diâmetro e produção de matéria verde e seca em mudas de timbaúva. Com auxílio de um complexo de troca gasosa (FITOTRON), obteve-se as principais informações fisiológicas para ambos os estudos.

Para a timbaúva, a saturação luminosa manifestou-se próximo a 40 klux, sendo que os maiores quantitativos da capacidade fotossintética foram obtidos a 22°C, quando exposta às luminosidades de 10 a 40 klux. Entretanto, sob baixa intensidade luminosa (2 klux), o melhor desempenho ocorreu a 15°C. O melhor índice da eficiência da transpiração foi observado a 15 klux, independentemente da temperatura. Detectou-se ainda, que a respiração e transpiração foram incrementadas com o aumento da temperatura, porém o coeficiente econômico

aparente apresentou um comportamento inverso.

Observou-se que a fotossíntese líquida foi reduzida com o aumento da tensão da seiva, sendo que os maiores valores foram registrados próximo à capacidade de campo. A respiração assim como o coeficiente econômico aparente foram reduzidos com o aumento da tensão da seiva. O incremento em altura mostrou-se sensível a tensões superiores a 1,34 bar e o diâmetro do colo a 5,70 bar.

Concluiu-se que a regeneração da timbaúva poderá ser conduzida sob um regime de alta intensidade de luz e em condições de solo que ofereça boa disponibilidade de água e nutrientes.

SUMMARY

This paper presents some ecophysiological behavior of Timbauva - *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong - seedlings in relation to the light intensity, air temperature and water supply conditions.

Experiments were installed to study the effect of the described environmental conditions in the photosynthesis, transpiration, dark respiration, height and diameter growth and green and dry matter production of Timbauva seedlings. The physiological measurements were carried out in a gas exchange chamber (PHYTOTRON) of 7 liters capacity.

The photosynthesis rate of Timabuva seedlings increases by increasing light intensity until 40 klux, where possibly its light saturation point is located. The greater amounts of the photosynthetic capacity were measured at the temperature of 22°C within 10 and 40 klux of light intensity. However, under low light conditions (2 klux) the best behavior was found at 15°C. The greater amount of the transpiration efficiency (net apparent photosynthesis/transpiration) was observed under 15 klux, independent of the temperature. The dark respiration and transpiration rates increase with the temperature. But the apparent economic coefficient (net apparent photosynthesis / dark respiration) decreases with increasing temperature.

The highest values of the cell sap tension caused by low levels of water supply to the plants are correlated with the lowest rates of net photosynthesis. Their greater amounts were measured nearing the field capacity of the substrate. Also, the dark respiration and the apparent economic coefficient decreases with the increasing cell sap tension. The height growth of the stem was affected by tensions greater than 1.34 bar while the diameter growth by tensions greater than 5.70 bar.

It can be concluded that the Timbauva regeneration may be conducted under high light intensity levels and soil conditions owning high water and nutrient contents.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRAE, F.H. Wachstum, wasser - und nährstoffhaushalt *Araucaria angustifolia* O.Ktze, *Cordia trichotoma* Arrab und *Eucalyptus saligna* Smith. Dissertação de Doutorado, Viena, 1978. 128 p.
2. _____. Ecologia Florestal. Santa Maria, Imprensa Universitária da UFSM, 1978. 230 p.
3. BONNER, J. & GALSTON, A.W. Principios de fisiologia vegetal. Barcelona, Aguillar, 1967. 485 p.
4. BORMAN, F.H. The relationships of ontogetic development and environmental modification to photosynthesis in *Pinus taeda* seedlings. In: The physiology of forest trees. New York, Ronald Press, 1958. p. 127-218.
5. CAMARGO, O.A. Aeração. In: MONIZ, A.C. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, 1972. 459 p.
6. CRAFTS, A.S. Water deficits and physiological processes. In: KOZLOWSKI, T.T. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1968. 2: 85-133.
7. DAVIES, W.J. & KOZLOWSKI, T.T. Stomatal responses to changes in light intensity as influenced by plant water stress. For. Sci., 21: 129-33, 1975.
8. DEPUIT, E.J. & CALDWELL, M.M. Stem and leaf gas exchange of two arid land shrubs. Amerc.J.Bot., 62(9): 954-61, 1975.
9. DEVLIN, R.M. Fisiologia vegetal. Barcelona, Omega, 1970. 614 p.
10. FERREIRA, M.G.M.; CÂNDIDO, J.F.; CANO, M.A.O. & CONDE, A.R. Efeito do sombreamento na produção de quatro espécies florestais nativas. R. Árvore, 1(2): 121-34, 1977.
11. HARI, P. & LUUKKANEN, O. Effect of water stress, temperature and light on photosynthesis in Alder seedlings. Physiol. plant., 29: 45-53, 1973.
12. _____. Field studies of photosynthesis as affected by water stress, temperature, and light Birch. Physiol. plant., 32: 97-102, 1974.

13. HARI, P.; LUUKKANEN, O.; PELKONEN, P. & SMOLANDER, H. Comparisons between photosynthesis and transpiration in Birch. Physiol. plant., 33: 13-17, 1975.
14. HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. Plant Physiol., 24: 519-570, 1973.
15. IMBAMBA, S.K. & TIESZEN, L.L. Influence of light and temperature on photosynthesis and transpiration in some C₃ and C₄ vegetable plants from Kenya. Physiol. plant., 39: 311-16, 1977.
16. INOUE, M.T. Fundamentos ecofisiológicos para a silvicultura de Cedrela spp. Curitiba, 1978. Tese Professor Titular. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 91 p.
17. —. Ecofisiologia na era do Fitotron. Brasil Madeira, 2(20): 21-23, 1978.
18. —; GALVÃO, F & TORRES, D.V. A produção primária de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no estágio de muda em dependência da intensidade luminosa. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., Manaus, 1978. 10 p.
19. KOZLOWSKI, T.T. Growth and development of tress. New York, Academic Press, 1971. v. 1, 443 p.
20. —. Growth and development of tress. New York, Academic Press, 1971. v.2, 514 p,
21. —. Drought and transplantibility of trees. In: Better trees for metropolitan landscapes symposium proceedings. USDA For.Serv.Gen.Tech.Rep. NE-22, 1976. 77-90.
22. KRAMER, P.J. Photosynthesis of trees as affected by their environment. In: The physiology of forest trees. New York, Ronald Press, 1958. p. 157-86.
23. —. Plant & soil water relationships: a modern synthesis. New York, McGraw-Hill, 1969. 482 p.
24. — & KOZLOWSKI, T.T. Fisiologia das árvores. Lisboa, Fund. Calouste Gulbenkian, 1972. 745 p.
25. LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. Barcelona, Omega, 1977. 305 p.
26. LOFTUS, N.S., Jr. Response of yellow poplar seedlings to simulated drought. U.S. For.Serv. South. For.Exp. SO-194, 1975. 3 p.
27. LYR, H.; POLSTER, H. & FIEDLER, H.J. Gehölz Physiologie. Jena, VEB Gustav Fischer, 1967. 444 p.
28. MEYER, B.S.; ANDERSON, B.D. & BOHNING, R.H. Introdução

- a fisiologia vegetal. Lisboa, Fund. Calouste Gulbenkian, 1970. 564 p.
29. MOTTA, F.S. Metereologia agrícola. São Paulo, Liv. Nobel, 1975. 376 p.
 30. O'TOOLE, J.C.; OZBUN, J.L. & WALLACE, D.H. Photosynthetic response to water stress in *Phaseolus vulgaris*. Physiol. plant., 40: 11-114, 1977.
 31. PURICH, G.S. Effect of water stress on photosynthesis, respiration, and transpiration of four *Abies* species. Can. J. For. Res., 3: 293-98, 1973.
 32. QURAIISHI, M.A. & KRAMER, P.J. Water stress in three species of *Eucalyptus*. Forest Sci., 16: 74-78, 1970.
 33. REDSHAW, A.J. & MEIDNER, H. Effects of water stress on the resistance to uptake of carbon dioxide in tobacco. J. Ex. Bot., 23: 229-40, 1972.
 34. REITZ, R.; KLEIN, R.M. & REIZ, A. Projeto madeirade Santa Catarina. Itajaí, Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. 320 p.
 35. RIZZINI, C.T. Manual de dendrologia brasileira. São Paulo, Edgard Blücher, 1971. 294 p.
 36. RONCO, F. Influence of high light intensity on survival of planted Engelmann Spruce. Forest Sci., 16: 331-9, 1970.
 37. SCHROPP, W. Der Vegetationsversuch. I. Die Methodik der Wasserkultur höherer Pflanzen. Berlin, Neumann, 1951.
 38. SEITZ, R.A. Algumas características ecológicas e silviculturais do vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia* Dusen). Dissertação. Mestrado. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1976. 114 p.
 39. SETH, S.K. & SRIVASTAVA, P.B.L. Effect on moisture gradient on the growth and nutrient uptake of sal (*Shorea robusta*) seedlings. Indian Forester, 97(11): 615-25, 1971.
 40. SLAVÍK, B. Methods of studying plant water relations-Ecological studies. Prague, Springer, 1974. 449 p.
 41. STRANSKY, J.J. & WILSON, D.R. Terminal elongation of loblolly and shortleaf pine seedlings under soil moisture stress. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28: 439-40, 1964.
 42. STREET, H.E. & OPIK, H. Fisiologia das angiospermas - crescimento e desenvolvimento. São Paulo, Polígono, 1974. 315 p.
 43. ZAHNER, R. Water deficits and growth of trees. In: KOZŁOWSKI, T.T. Water deficits and plant growth. N.York, 1968. v. 2, 1921-253.

A P P E N D I C E I

Os quadros que seguem referem-se a pesquisa "A".

QUADRO 1- Análise de variância para a fotossíntese líquida

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	11	1123,25	102,11	48,92*
Temperatura	2	82,76	41,38	19,82*
Luminosidade	3	1019,01	339,67	162,75*
Interação	6	21,48	3,58	1,71N/S
Erro	96	200,39	2,09	
TOTAL	107	1323,64		

QUADRO 2- Análise de variância para a respiração

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	2	2,817	1,408	16,46*
Erro	24	2,053	0,086	
TOTAL	26	4,870		

QUADRO 3- Análise de variância para a transpiração

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	11	50441,67	4585,60	25,70*
Temperatura	2	18639,63	9319,81	52,24*
Luminosidade	3	20284,96	6761,65	37,90*
Interação	6	11517,07	1919,51	10,75*
Erro	96	17126,67	178,40	
TOTAL	107	67568,34		

QUADRO 4- Análise de variância para o coeficiente econômico aparente

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	11	1218,51	110,77	39,16*
Temperatura	2	316,58	158,29	55,96*
Luminosidade	3	814,26	271,42	95,95*
Interação	6	87,64	14,60	5,16*
Erro	96	271,54	2,83	
TOTAL	107	1490,05		

A P P E N D I C E I I

Os quadros que seguem referem-se a pesquisa "B".

QUADRO 1- Análise de variancia para a tensão da seiva

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	363,22	90,81	316,39*
Erro	20	5,74	0,29	
TOTAL	24	368,96		

QUADRO 2- Análise de variância para a fotossíntese líquida

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	19	798,13	42,01	52,47*
Tensão da seiva	4	76,13	19,03	23,77*
Luminosidade	3	691,91	230,63	288,13*
Interação	12	30,09	2,51	3,13*
Erro	120	96,06	0,80	
TOTAL	139	894,19		

QUADRO 3- Análise de variância para a respiração

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	3,04	0,76	4,72*
Erro	30	4,83	0,16	
TOTAL	34	7,87		

QUADRO 4- Análise de variância para o coeficiente econômico aparente

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	19	1238,37	65,17	8,06*
Tensão da seiva	4	223,75	55,93	6,92*
Luminosidade	3	918,43	306,14	37,89*
Interação	12	96,19	8,02	0,99N/S
Erro	120	969,39	8,07	
TOTAL	139	2207,76		

QUADRO 5- Análise de variância para o incremento em altura

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	299,709	74,927	43,90*
Erro	15	25,600	1,707	
TOTAL	19	325,309		

QUADRO 6- Análise de variância para o incremento do diâmetro do colo

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	0,403	0,101	6,52*
Erro	15	0,232	0,015	
TOTAL	19	0,635		

QUADRO 7- Análise de variância para o peso verde das raízes finas

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	1,071	0,263	10,26*
Erro	15	0,391	0,026	
TOTAL	19	1,463		

QUADRO 8- Análise de variância para o peso verde das raízes grossas

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	1,063	0,266	31,09*
Erro	15	0,129	0,009	
TOTAL	19	1,191		

QUADRO 9- Análise de variância para o peso verde do caule

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	0,053	0,013	2,23N/S
Erro	15	0,089	0,006	
TOTAL	19	0,143		

QUADRO 10- Análise de variância para o peso verde das folhas

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	0,074	0,018	27,31*
Erro	15	0,010	0,001	
TOTAL	19	0,084		

QUADRO 11- Análise de variância para o peso seco das raízes finas

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	0,002	0,0005	1,1N/S
Erro	15	0,007	0,0004	
TOTAL	19	0,009		

QUADRO 12- Análise de variância para o peso seco das raízes grossas

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	0,097	0,024	8,37*
Erro	15	0,044	0,003	
TOTAL	19	0,141		

QUADRO 13- Análise de variância para o peso seco do caule

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	0,008	0,002	1,17N/S
Erro	15	0,025	0,002	
TOTAL	19	0,033		

QUADRO 14- Análise de variância para o peso seco das folhas

FONTE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	0,003	0,00075	7,50*
Erro	15	0,002	0,00001	
TOTAL	19	0,005		